Santé et Bien-être social Canada
Health and Welfare Canada

Canada

LE FACTEUR HUMAIN

Traité sur les facteurs humains en hélicoptère

86-05862/

LE FACTEUR HUMAIN

Traité sur les facteurs humains en hélicoptère

par
Dr Olaf Skjenna, LMCC
Direction de la médecine aéronautique

avec la contribution de
Hugo Leech

Publication autorisee par le ministre de la
Sante nationale et du Bien-etre social
Direction generale des services medicaux
1986

Also available in English under the title
"Cause Factor: Human -
A Treatise on Rotary Wing Human Factors"

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1986

En vente au Canada par l'entremise de nos

agents libraires agréés
et autres librairies

ou par la poste auprès du:

Centre d'édition du gouvernement du Canada

Approvisionnements et Services Canada

Ottawa (Canada) K1A 0S9

N° de catalogue H34-26/1986F — au Canada: $12.75

ISBN 0-660-91744-0 — à l'étranger: $15.30

Prix sujet à changement sans préavis

Photo couverture: courtoisie de JIM GRANT

CET OUVRAGE EST DÉDIÉ À

KEN YOUNG - GRAND PILOTE D'HÉLICOPTÈRE,
ET À TOUS SES PAIRS DU MONDE ENTIER...

... AINSI QU'À DAVE GITTEL ET
À TOUS MES AUTRES AMIS DISPARUS

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS

CHAPITRE		Page
I.	Un homme, une histoire	1
II.	Historique	7
III.	Principes d'aérodynamique (Hugo Leech)	19
IV.	L'homme	35
V.	Aspects physiologiques	47
VI.	Troubles de l'orientation et problèmes visuels	55
VII.	Contraintes opérationnelles	73
VIII.	Contraintes psychologiques	85
IX.	Cas d'urgence en hélicoptère	100
X.	Enquête sur les accidents d'hélicoptères	117
XI.	Cinématique d'un accident	143
XII.	Possibilités de survie à la suite d'un accident d'hélicoptère	169
XIII.	Guide d'évaluation des changes de survie en cas d'accident d'hélicoptère	197
XIV.	Agir pour survivre	221
XV.	L'avenir	233

RÉFÉRENCES 237

ANNEXES

ANNEXES	ANNEXE A	Enquête sur les facteurs humains	I	241
	ANNEXE B	Enquête sur les facteurs humains	II	247
	ANNEXE C	Équations de décélération	($V_{f=0}$)	253
	ANNEXE D	Équations de décélération	($V_{f\neq0}$)	257
	ANNEXE E	Fonctions trigonométriques		261
Notice biographique				263

AVANT - PROPOS

Cet ouvrage, qui se veut au service de la sécurité des vols sur hélicoptère, poursuit trois objectifs:

1. Renseigner tous ceux qui prennent part à la conception, à la construction et à l'exploitation des hélicoptères, sur certains des problèmes que posent les facteurs humains associés au vol sur appareils à voilure tournante.

2. Exposer certains des principes du vol de l'hélicoptère aux spécialistes de la médecine aéronautique et leur présenter quelques-unes des difficultés liées au facteur humain dans ce mode de transport.

3. Stimuler l'intérêt pour la recherche sur les facteurs humains qui pourraient compromettre la sécurité des vols en hélicoptère.

L'aspect philosophique est peut-être l'une des facettes les plus intéressantes de la médecine aéronautique: en étudiant la relation entre l'homme et ses créations, on en vient à mieux comprendre l'homme lui-même. Ce précepte peut d'ailleurs s'appliquer à bien d'autres domaines que la médecine aéronautique. Wilbur Franks, que beaucoup considèrent comme le père de la médecine aéronautique au Canada et qui a inventé la première combinaison anti-g, a lui-même déclaré que nous subissons l'une des pires pandémies de l'histoire de l'homme: les accidents de transport. Par l'étude d'autres aspects du bilan négatif des relations entre l'homme et la machine, il serait possible de découvrir de nombreux moyens permettant d'améliorer ce lamentable résultat: des morts, des blessés, du chagrin. Le nombre élevé d'accidents nous a donné matière à une étude détaillée sur la question.

Alors que j'étais à l'université, je voulais me consacrer à la biologie et étudier la faune aquatique, mais j'étais également attiré par la médecine. Aussi, demandais-je à un professeur ce qu'il pensait de mes aspirations. Il me répondit qu'il était payant d'en savoir le plus possible sur au moins un organisme, ce qui confère une bonne base de comparaison pour en étudier d'autres et donc, que toute connaissance médicale me serait certainement d'une aide précieuse dans mes études ultérieures en biologie. Ce même raisonnement vaut aussi pour cet ouvrage. En effet, j'ai essayé de cerner au plus près la mise en oeuvre de l'hélicoptère, le milieu de travail et les particularités du comportement humain qui en résultent et, dès lors, d'apporter le plus de détails possible sur au moins un cas de relation entre l'homme et la machine. J'espère donc que même le lecteur relativement peu intéressé par le vol des hélicoptères pourra en retirer certaines connaissances et les appliquer à d'autres domaines des réalisations humaines.

Je tiens à remercier tous ceux qui m'ont encouragé et qui ont bien voulu m'aider à rassembler ces données, et je voudrais rendre hommage au Colonel A.K. Casselmann, ancien pilote des Forces armées canadiennes, aux membres de l'Escadron Hélicoptères de la BFC de Portage la Prairie ainsi qu'à mon instructeur sur hélicoptères, le Major Tommy Thompson. J'adresse également mes remerciements au personnel de Transports Canada, particulièrement à M. Dick Peters qui m'a aidé à rédiger ce livre et m'a fait profiter de ses critiques constructives, et à Hugo Leech qui a rédigé la partie technique. Le Dr Ian Anderson, directeur de la médecine aéronautique civile au ministère de la Santé nationale et du Bien-être social, mérite

ma gratitude pour m'avoir encouragé et aidé par ses remarques. Quant à Lois Parent, qui a consciencieusement dactylographié mon manuscrit, elle mérite toute ma reconnaissance.

Je ne saurais non plus oublier la contribution des nombreux auteurs et enquêteurs aux travaux desquels cet ouvrage doit énormément et dont beaucoup ont consacré leur carrière à l'amélioration de la sécurité de ce merveilleux véhicule qu'est l'hélicoptère.

Les buts visés par ce livre ne constituent ni ne reflètent les politiques du ministère de la Santé nationale et du Bien-être social, de Transports Canada et des Forces armées canadiennes.

Dr Olaf W. Skjenna,
Direction de la médecine aéronautique

CHAPITRE I

UN HOMME, UNE HISTOIRE

Le 6 septembre

Depuis vingt-trois jours déjà, les vents dominants d'ouest poussent l'air humide du Pacifique, sur les montagnes côtières. En passant à proximité des sommets, l'air se refroidit jusqu'au point de sursaturation, donnant d'abord naissance à du brouillard, puis à des flocons de neige lourde qui remplissent le ciel comme le feraient des millions de papillons blancs; quant au thermomètre, il reste fidèle au 0°C.

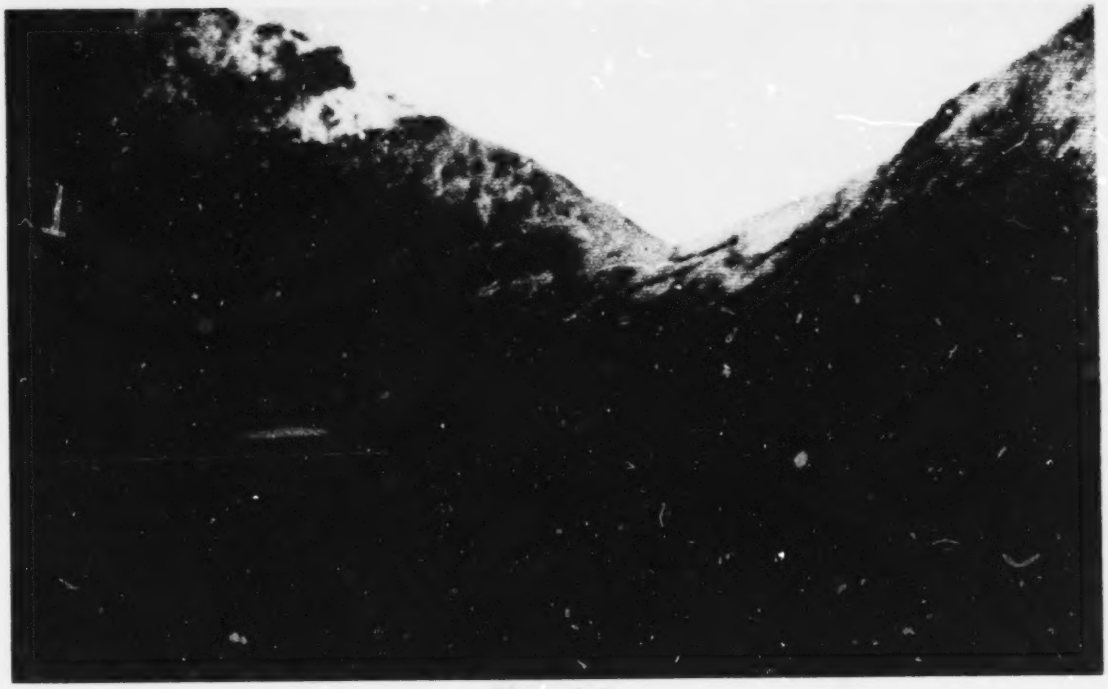


Photo 1-1

Installé dans son hélicoptère, Bill T. un pilote aux 29 années d'expérience, attend impatiemment son mécanicien. Le regard chargé d'inquiétude, il fixe la pente qui se fond dans le mauvais temps qui le fait fulminer. En deux mois et demi, il n'a compté que quatre jours de soleil; le camp n'est plus qu'un marécage boueux, l'humidité et le froid qui pénètrent partout rendent la vie impossible. Mais les entreprises de forage ne peuvent suspendre leur travail d'exploration pour une simple question de météorologie et les pilotes d'hélicoptère n'ont de toute façon pas le loisir de s'épancher sur le manque de confort.

Soudain, comme un diable sortant de sa boîte, le mécanicien émerge de la brume, ouvre et s'installe à bord. Dans moins de quatre minutes, Bill et lui vont dévaler la pente montagneuse, prisonniers d'une épave en flammes.

"OK, 3100 tours, réchauffage carburateur tiré à fond. On aura assez de puissance si l'on vole bas. En y allant doucement et en gardant le sol à vue je devrais pouvoir arriver jusqu'au col.

Alors qu'il "gratte" littéralement la pente en direction de celui-ci, qui se trouve à 8000 pieds, Bill constate avec une certaine irritation que la bulle commence à s'embuer, mais il est aussi soulagé de remarquer qu'il n'y a au moins pas d'accumulation de glace à l'extérieur, preuve que les rotors ne givrent pas (c'est du moins ce qu'il croit, après avoir momentanément oublié que ce type d'indication n'est valable qu'en vitesse de croisière).

Continuant de monter le long de la pente, l'hélicoptère s'enfonce dans le brouillard et le tourbillon de neige, s'immobilisant parfois lorsque Bill, d'un coup d'oeil rapide, cherche le sol. Bill est en sueur.

Finalement, un terrain plat se présente. Ce doit être le col. En reprenant de la vitesse, le pilote voit le sol se dérober sous lui et disparaître sous une pente de 35 degrés qui descend jusqu'au pied de la montagne, au chantier de forage situé quelque 3000 pieds plus bas, mais qu'aucun des deux ne peut encore voir. Bill donne encore des gaz.

"Non! Le régime chute! Il faut que je descende! Je ne peux pas, la pente est trop forte!" Bill vient d'ouvrir les gaz à fond mais le régime continue à chuter.

Les décharges d'adrénaline dans le corps humain peuvent avoir de nombreux effets. Celui de donner force ou agilité et pour certains, comme Bill, donner l'impression que le temps s'arrête et les événements qui se déroulent en quelques secondes paraissent s'éterniser, un peu comme dans un film au ralenti.

Pour Bill, il n'y a alors qu'un petit espoir de s'en sortir: accélérer en descendant la pente pour essayer de prendre de la portance en translation. "Il faut y aller" crie-t-il à son mécanicien en abaissant le manche de pas cyclique et en s'élançant droit devant à environ un pied au-dessus de la neige.

Lorsqu'il consulte le tableau de bord, juste avant le premier impact, il remarque qu'il est à 2500 tours au tachymètre et que l'aiguille de l'anémomètre oscille autour de 20 milles. Puis un bruit sourd suivi d'une incroyable cacophonie se font entendre lorsque le rotor principal heurte la poutre de queue et sectionne tous les circuits en même temps que l'arbre de transmission du rotor anticouple.

La machine, comme prise d'une sorte de délire, se met à tourbillonner sur elle-même avant de heurter le sol une deuxième fois. Bill, impuissant, voit la bulle voler en éclats et se volatiliser en milliers de morceaux de plexiglas qui, comme des dards, viennent se planter dans son visage. Puis, l'odeur fraîche de la montagne emplit ses narines, succédant à l'air stagnant de l'habitacle. En un instant, impression terrifiante, tout le paysage de neige est illuminé par un éclair orange: pour Bill, il n'y a aucun doute, c'est le feu. Tous les pilotes font ces cauchemars, qu'ils gardent secrets, dans lesquels ils se voient prisonniers d'une épave en flammes; Bill ne faisait pas exception. Son coeur avait sauté dans sa poitrine lorsqu'il avait senti une chaleur intense sur sa joue droite et que cette cauchemardesque lueur témoignait de la destruction totale de sa machine.

Bill venait de prendre conscience de ce calme paisible que l'on ne trouve qu'en haute montagne, de ce silence parfait que seul le sinistre craquement de l'épave en feu venait troubler.

"Il faut sortir". Il déboucle sa ceinture et se glisse à l'extérieur, par l'avant et en remontant la pente. Se souvenant alors que son mécanicien est à bord il revient sur les lieux et le voit émerger des flammes. En s'approchant de son camarade, Bill remarque que ses cheveux sont collés par ce qui semble être de la boue; en fait, ils sont brûlés.

Ils s'assoient et regardent les restes de l'épave qui se consume.

Photo 1-2

Ce récit d'un véritable accident d'hélicoptère nous a été rapporté par un pilote qui a eu la chance de survivre. Malheureusement, ce genre de spectacle est beaucoup trop fréquent et se solde souvent par des résultats beaucoup plus désastreux.

Entre janvier 1976 et septembre 1980, il y a eu 535 accidents d'hélicoptères de tous types au Canada. Il s'agit d'un chiffre très élevé si l'on considère qu'il y avait un peu moins de 900 hélicoptères immatriculés au 15 octobre 1980. Statistiquement, il en ressort qu'un pilote sur quatre est victime d'un accident sur une période de cinq ans, en supposant une répartition uniforme.

La majorité de ces accidents ont une cause humaine, souvent l'erreur de jugement due à la fatigue, une surcharge de travail, le manque de confort, de mauvaises informations ou autres. Dans 80 à 90 p. 100 des cas, l'élément humain constitue un facteur direct ou contributif, alors que, pour le reste, c'est le matériel qui est en cause. En fait, même dans ces derniers groupes d'accidents, un enquêteur qui pose sa question favorite, "pourquoi?", découvrira bien des fois que l'élément humain se cache derrière le problème de conception, de construction ou d'entretien de la machine avec le heurt de câbles aériens ou d'autres obstacles par le rotor ou les patins, les difficultés liées aux rafales de vent et les atterrissages sur terrain irrégulier ou bordé d'obstacles sont à l'origine de la plupart des accidents. Le mauvais temps a provoqué 29 accidents entre 1976 et 1980.

Des pilotes comme Bill T peuvent-ils être blâmés d'avoir pris une mauvaise décision, manqué de jugement, ou encore d'avoir mal évalué une situation qui a débouché sur un accident. Hormis les cas relativement rares de négligence professionnelle, je ne le pense pas. Les pilotes d'hélicoptères sont soumis à de multiples contraintes qui peuvent influer sur leur aptitude au pilotage et, de plus, ils travaillent souvent dans des conditions défavorables, à proximité immédiate de nombre d'obstacles dangereux et ils font voler leurs appareils à la limite des possibilités humaines.

Un pilotage sûr nécessite l'intégration de trois éléments en un seul et même grand système que nous appellerons l'aérosystème. Ces éléments sont l'homme, la machine et le milieu, ce dernier regroupant les conditions d'exploitation et les particularités météorologiques. Chacun de ces éléments interdépendants dans une mesure variable, influence les autres, également dans une mesure variable.

Malheureusement, l'élément le plus vulnérable et le plus susceptible d'être influencé par les autres est également celui que l'on comprend le moins et qui est le plus difficile à évaluer. Cet élément, bien sûr, c'est l'homme, constatation qui ne surprendra personne, surtout pas les spécialistes du facteur humain. Et pourtant on ne tient souvent pour ainsi dire pas compte de l'homme en fait de conception, d'exploitation et de formation.

Au cours de sa formation un pilote passe un temps considérable à apprendre les caprices de la météorologie et les secrets de sa machine, mais il passe trop peu de temps à l'étude de la partie la plus vulnérable de l'aérosystème: lui-même. Cette anomalie est aggravée par le fait que l'homme est son plus mauvais juge, surtout lorsqu'il s'agit d'évaluer son rendement. Qu'il est donc difficile pour quelqu'un d'admettre ses défauts et ses imperfections! Nous avons en effet développé des moyens de nous protéger contre de telles incriminations, mais cela n'a pas été sans créer une barrière que nous devons franchir pour pouvoir évaluer correctement notre aptitude à piloter à un moment ou à un autre.

De plus, nous avons peu d'occasions de nous perfectionner par rapport à la quantité d'informations relatives aux particularités de nos machines. On a souvent dit que l'homme s'occupe mieux et plus consciencieusement de sa voiture que de lui-même. Je suis certain qu'il en va tout autant des avions et des hélicoptères.

De toute évidence, il faut combler ces lacunes. Avec l'expérience, j'ai conclu que la manière la plus efficace de le faire consistait à informer les exploitants et les pilotes que certaines peuvent conduire au désastre. Les pilotes devraient s'établir une sorte de liste de vérification de leurs particularités pour pouvoir s'auto-évaluer rapidement avec le moins de préjugé possible. Pour cela, ils doivent savoir à quoi s'attendre et c'est à cette fin que cet ouvrage a été rédigé.

Évidemment, malgré tous les efforts raisonnablement déployés, on sait pertinemment que des accidents continueront à se produire. C'est pourquoi nous devons nous préoccuper de la protection des occupants, membres de l'équipage ou passagers. De nos jours, on ne devrait plus voir d'épaves en flammes. Nous disposons en effet de la technologie permettant de protéger les occupants et d'éviter les pertes de vies humaines dans des accidents qui auraient dû laisser des chances de survie. Les derniers chapitres sont d'ailleurs consacrés à l'évaluation et à l'analyse de la résistance d'une machine.

Qu'est-ce que la sécurité? Certains l'ont définie comme étant l'absence de risque, définition qui est absurde en raison de son caractère restrictif. En fait, la sécurité c'est la reconnaissance et la maîtrise du risque en tenant compte de certains paramètres prédéterminés. Le degré de risques à accepter en permanence, et pour n'importe quel type d'opération donné, dépend des circonstances du moment. Par exemple, ces paramètres seront différents selon qu'il s'agira d'opérations militaires en temps de paix ou en temps de guerre. Dans le même ordre d'idée, les risques acceptables pour une entreprise civile de transport de passagers seront différents de ceux retenus pour la surveillance des pipelines.

Nous espérons donc que cet ouvrage aidera le lecteur à identifier les divers facteurs. Nous avons aussi l'intention de nous préoccuper du comportement de l'homme et de décrire les contraintes que la machine peut lui imposer. En connaissant ces facteurs et en décidant du niveau de risque acceptable, un exploitant peut formuler ses propres lignes directrices.

CHAPITRE II

HISTORIQUE

"À l'instar de tous les novices, nous avons commencé par nous intéresser à l'hélicoptère (dans notre enfance), mais nous nous sommes vite rendu compte qu'il n'avait aucun avenir et nous avons abandonné cette voie. Après tout, l'hélicoptère n'accomplit ce que réussit le ballon sans consommation d'énergie qu'au prix d'un travail important, et il n'est guère mieux adapté que lui au vol rapide horizontal. Si le moteur s'arrête, le pilote est condamné à une mort certaine, car l'hélicoptère ne peut ni être "porté" comme un ballon ni planer comme un aéroplane. S'il est beaucoup plus facile à concevoir qu'un aéroplane, l'hélicoptère n'est d'aucune utilité pratique".

Wilbur Wright, le 15 janvier 1909

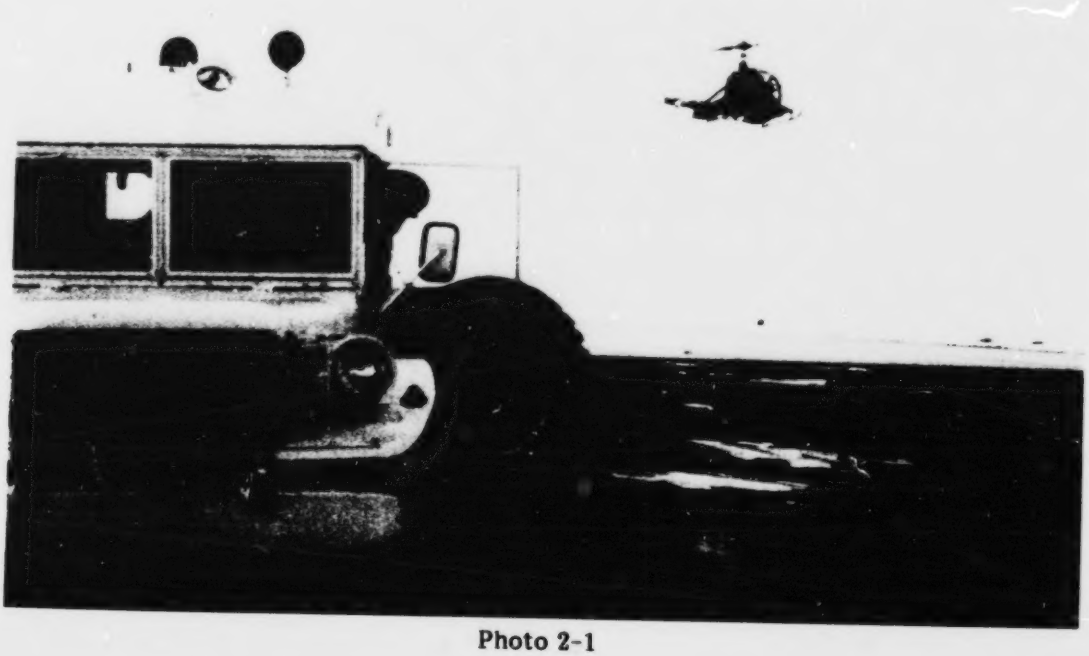


Photo 2-1

Berlin - 1938

L'après-midi tire à sa fin et la foule qui a envahi le palais des sports trépigne d'impatience. Les regards émerveillés sont braqués sur la machine insolite placée au centre du terrain. Son nom de baptême: Focke-Achgelis, (Fig. 2-1); elle ressemble un peu à un avion classique si ce n'est que les ailes sont remplacées par deux structures - semblables à des tours de forage - qui soutiennent chacune un rotor. Un

remous d'excitation parcourt la foule lorsque le pilote, mademoiselle Hannah Reitsch, se dirige vers l'étrange appareil d'un pas résolu et s'installe dans l'habitacle. La foule fait silence. Mais, bientôt, se fait entendre la cacophonie du moteur de 165 chevaux qui prend vie. À l'extrémité des deux structures, les "hélices" commencent à tourner et à soulever la poussière de la piste. L'appareil frémit, s'ébranle, puis s'élève à 15 pieds dans les airs pour s'y maintenir, immobile, comme suspendu par d'invisibles câbles qu'on aurait attachés à la voûte du stade. La foule applaudit aux manoeuvres en vol stationnaire qu'exécute mademoiselle Reitsch. Mais se rendent-ils vraiment compte, tous ces spectateurs, qu'ils assistent à la naissance d'une ère nouvelle, celle de l'hélicoptère?

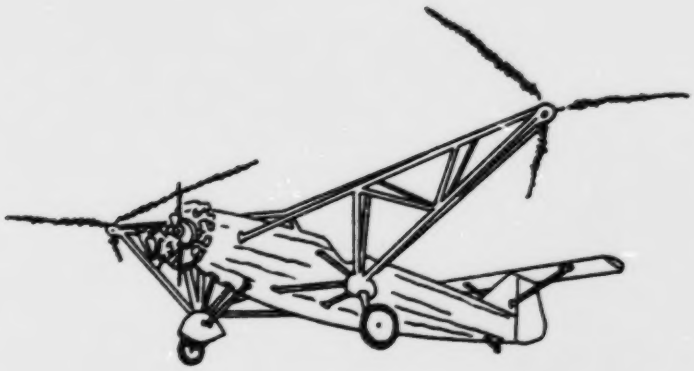


Fig. 2-1 Focke-Achgelis

Hannah Reitsch, qui deviendra plus tard le pilote personnel d'Hitler, va effectuer plusieurs autres vols sur le Focke-Achgelis, dont la liaison Brême-Berlin qu'elle a réalisée à une vitesse moyenne de 68 milles à l'heure et qui est considérée comme le premier vrai voyage sur hélicoptère. Cet appareil, d'apparence disgracieuse, va établir plusieurs nouveaux records, celui d'altitude, avec 11 243 pieds, et celui de distance avec 143 milles. Sur une distance d'au moins 20 kilomètres, il a maintenu une vitesse de 76 milles à l'heure.

Heureusement, les propos pessimistes de Wilbur Wright s'étaient révélés faux, comme c'est d'ailleurs le cas pour la plupart des prédictions faites en aviation. Mais alors, à quand remontent les débuts de l'hélicoptère et quelle fut son évolution pour en arriver aux appareils très perfectionnés de notre époque?

La conception et la réalisation du vol vertical remontent à des temps immémoriaux. Le boomerang, une des toutes premières armes de l'homme, d'ailleurs encore utilisé par les peuplades d'Australie et d'Afrique, possède des propriétés particulières - par exemple celles d'évoluer dans les airs, de tournoyer sur place et de redescendre intact - qui reposent sur les mêmes principes que ceux du vol de l'hélicoptère en autorotation. La nature, elle aussi, offre plusieurs exemples, tous très impressionnants, du vol stationnaire et vertical; comme celui du fruit empenné de l'érable qui

tombe de l'arbre en tournoyant; comme celui de la libellule et de l'abeille, ou encore du colibri, dont les ailes battent plus de 200 fois par seconde lorsqu'il est en stationnaire.

À l'aube de l'histoire humaine, ces principes ont été matérialisés par la "toupie chinoise", qui consiste en un bâtonnet coiffé d'une hélice. On fait tourner le bâtonnet entre ses mains et la toupie s'élève sous l'effet de la poussée ainsi produite (Fig. 2-2).

De nos jours encore ce jouet, maintenant en plastique, est très répandu.

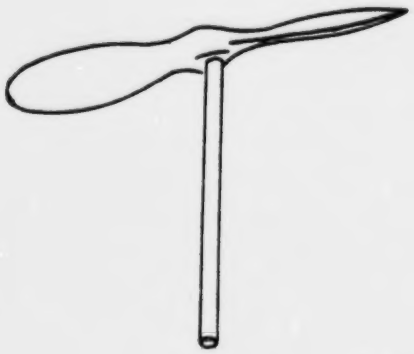


Fig. 2-2 Toupie chinoise

Presque trois siècles avant Jésus-Christ, Archimède, ce fécond et prodigieux savant grec, virtuose des mathématiques, de la physique et de l'invention, imagine un grand nombre de dispositifs et d'appareils tous aussi ingénieux les uns que les autres. On lui doit notamment une vis qui porte son nom; il s'agit de la vis sans fin qui, enfermée dans un cylindre entièrement clos lui servant de chambre, est animée d'un mouvement de spirale permettant d'évacuer l'eau des bateaux qui ont coulé. On s'en sert encore dans le monde entier pour faire monter l'eau d'irrigation et elle reste le meilleur moyen de convoyage du grain, du sable ou du gravier. Sa principale application s'est cependant fait attendre jusqu'à ce que, 1800 ans plus tard, Léonard de Vinci, alors âgé de 33 ans, griffonne quelques croquis annotés sur l'énigme du vol. En 1505, il rédige une monographie à ce sujet dont il garde le manuscrit secret. Il avait découvert tout de suite ce qu'Archimède n'avait jamais signalé: qu'en tant qu'éléments, l'air et l'eau étaient cousins germains. Il soutenait que quiconque voudrait étudier l'un ferait bien d'étudier les deux.

Léonard de Vinci ne fit que franchir une autre étape en se prouvant que même si l'on n'enfermait pas la vis d'Archimède, elle travaillerait dans l'air aussi bien que dans l'eau. Il lui faudrait tourner plus vite dans l'élément moins dense, mais en fait de portance, le résultat serait le même. L'illustre savant décrit le premier hélicoptère

théorique: "Je suis sûr que si cette machine à vis est bien faite - autrement dit faite d'une toile amidonnée pour en supprimer la porosité - et si la vis tourne rapidement, cette vis décrira une spirale dans l'air et la machine pourra s'élever. Si une force engendre un mouvement plus rapide que celui de l'air sans résistance qui s'échappe, cet air sera comprimé comme le sont les copeaux qui s'écrasent sous le poids d'un tire-fond. La chose se déplacera dans l'air et, cet air lui opposant une résistance, elle rebondira à la manière d'un ballon projeté contre un mur."

Léonard de Vinci s'est suffisamment intéressé à cette étude pour pouvoir dresser une liste des fournitures nécessaires à la construction de telles "machines volantes". Il a fait des dessins de ce qui ressemble à un traîneau avec des harnais permettant au pilote de se tenir allongé face au sol, agissant sur deux barres croisées qu'il manipule comme des rames.

Une autre machine du genre présentait de nombreux points de ressemblance avec les premiers hélicoptères réalisés. Elle consistait en un système de deux "ventilateurs" actionnés par un homme qui, debout dans une grande cuvette, devait s'échiner sur un train de poulies. Peut-être Léonard de Vinci n'avait-il pas une grande foi en cet appareil, comme certains historiens en ont par la suite émis l'opinion. Léonard de Vinci a conçu le premier parachute fait de toile rendue rigide et il a conseillé les pilotes assez audacieux pour survoler une étendue d'eau sur ce qu'il faut faire pour sortir indemne d'une chute. Sa dernière contribution a été la première carte aéronautique connue, un tracé sommaire de l'Espagne, de la France et de l'Allemangne, divisées en provinces pour permettre à un pilote rescapé de savoir où il se trouve. Léonard de Vinci a cependant commis certaines erreurs de calcul, faute d'avoir comparé avec précision la puissance massique des oiseaux à celles des hommes, ce qui lui aurait permis de se rendre compte de la nécessité d'un moteur.

Presque au même moment où Léonard de Vinci rédigeait son traité sur le vol, un alchimiste italien qui poursuivait ses études dans une abbaye écossaise assurait aux moines qu'il pouvait prendre son vol à partir des murs abrupts de Castle Sterling et traverser la Manche jusqu'en France. Essayant de réaliser cet exploit, il se fractura le fémur et innova l'une des premières excuses pour aviateurs malchanceux. Il déclara qu'il avait fait l'erreur d'employer des plumes de coq pour construire les ailes. "Elles ont trop d'affinité naturelle pour les tas de fumier; je n'aurais dû employer que des plumes d'aigle."

Dès 1670, Geovani Alphonso Borelli démontre formellement que la force de l'homme ne peut à elle seule suffire à se maintenir et à se diriger en vol. Cette conclusion avait échappé à l'acuité de tous les autres rêveurs dans ce domaine. On reconnaît enfin, la nécessité absolue d'une source de puissance.

J. Bell Pettigrew, un physiologiste anglais, se livre à une étude approfondie des ailes d'oiseaux et de leurs mouvements. Selon lui, les oiseaux utilisent les plumes à l'extrémité de leurs ailes un peu à la façon de rotors, en modifiant constamment leur angle d'attaque tout en battant des ailes. Lorsque l'oiseau est en mouvement, le débattement des extrémités d'ailes suffit à assurer la sustentation, et les ailes deviennent alors des "hélices souples". Ces théories sur le vol aviaire seront un jour confirmées par la photographie à haute vitesse. Pettigrew livre alors la recette de base de l'hélicoptère: l'utilisation de deux pales effilées qui, tournant rapidement grâce à une force artificielle, enlèvent la machine dans les airs.

Cependant, 70 ans avant la formulation de cette savante conclusion, Sir George Cayley avait entrepris de sérieuses recherches dans ce domaine. S'inspirant de la toupie chinoise, il construit des hélicoptères miniatures constitués par deux gros bouchons reliés par un axe, dans lesquels des plumes de mouettes sont fichées selon un certain angle. Un petit archet permet de transmettre le mouvement de rotation à l'axe. Ainsi, Cayley invente un appareil qui peut s'élever à une douzaine de pieds. Il estime qu'une machine semblable, dont les plumes balayeraient une surface de 200 pieds carrés et tourneraient à une vitesse suffisante, serait capable de soulever un homme. Vers 1840, Cayley construit un hélicoptère à quatre rotors de huit pales (Fig. 1-3). Il doit cependant rejeter le moteur à vapeur, trop lourd et trop encombrant, et préconise plutôt l'emploi d'un moteur qui rappelle les moteurs alternatifs modernes pour lequel l'huile, le gaz ou la poudre à canon peuvent servir de carburant. Après quelques expériences infructueuses avec la poudre, Cayley abandonne cette idée.

Fig. 2-3 Machine volante de Cayley

En 1842, en Angleterre, W.H. Phillips construit un modèle réduit équipé d'un moteur à vapeur entraînant des rotors superposés. Malgré son poids de 20 livres, la maquette peut atteindre des hauteurs assez considérables. Vers la fin du siècle dernier, Thomas Edison se livre à des expériences avec des modèles actionnés par des moteurs électriques. Il essaye aussi un moteur dont le carburant est à base de poudre à canon, mais se voit forcer d'abandonner son projet lorsqu'une forte explosion se produit dans son laboratoire.

En 1863, George D. Landelle crée une maquette qu'il baptise "Vaisseau de l'air". Elle comporte deux mâts sur lesquels sont disposés des hélices montées en pyramide. Les mâts sont coiffés de larges parachutes qui peuvent s'ouvrir en cas d'urgence. L'appareil se soulève de 10 pieds avant de s'écraser au sol. Peu après, cet ingénieux américain découvre le principe de la contrarotation: deux hélices tournant en sens contraire sur le même axe. C'est la première fois qu'on s'intéresse au problème du couple. Le modèle, que Landelle présente devant l'Académie française des sciences, suscite à l'époque un intérêt croissant dans le public européen.

La même année, un certain Bishop Milton Wright, le père de Wilbur et d'Orville, se procure lors d'un voyage en France une toupie hélicoptère qu'il offre à ses fils. Cet objet, qu'il lance dans les airs en arrivant à la maison, porte le nom français

"d'hélicoptère", des mots grecs "hélixe", spirale, et "ptérone", aile. Les deux frères s'adonnent à diverses expériences, mais se découragent lorsqu'ils découvrent qu'une version plus grande du jouet ne fonctionne pas sans un apport considérable de puissance.

Au début des années 1900, Louis Bréguet, un Français dont les avions vont connaître un succès considérable pendant la Grande Guerre, construit une machine dont la sustentation est assurée par quatre hélices disposées à 90 degrés les unes des autres et entraînées par un petit moteur d'avion. En août 1907, l'appareil, avec un pilote à bord, atteint une hauteur de 5 pieds et s'y maintient pendant deux minutes. En fait, ce "vol" ne prouve qu'une chose: que l'appareil de Bréguet est presque aussi instable que ses devanciers. Tous les constructeurs d'hélicoptères se heurteront d'ailleurs au même problème. Plus tard, Bréguet construira encore trois hélicoptères selon les mêmes principes.

En 1906, Paul Cornu, un autre Français, construit un hélicoptère équipé d'un moteur de 24 chevaux dont les rotors sont montés sur des bâtis latéraux. L'appareil effectue quelques "sauts de puce" sans jamais monter à plus de six pieds de haut. Il semble alors qu'au-delà de cette hauteur il soit impossible de stabiliser la machine assez longtemps.

En 1909, deux Américains, Emile et Henry Berliner, le père et le fils, construisent un appareil muni de deux moteurs qui entraînent des rotors contrarotatifs. La machine parvient à s'élever avec un pilote à bord. En outre, les Berliner mettent au point un aéronef équipé de rotors latéraux montés sur les ailes (Fig. 2-4). Ces machines ne donnent que des résultats mitigés en vol stationnaire et en translation avant à faible vitesse.

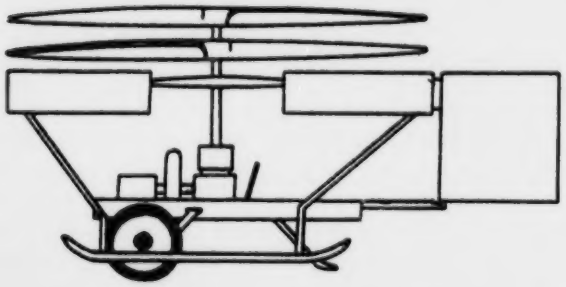


Fig. 2-4 Coaxial de Berliner

En 1921, un autre Américain, De Bothezat, construit un hélicoptère de 4000 livres comportant quatre rotors placés aux extrémités de deux poutrelles en T. Chaque rotor comporte six pales qui tournent très lentement et l'appareil est pilotable grâce à un système à variation de pas. De Bothezat installe même un dispositif permettant l'autorotation. Toutefois, comme ses devanciers, cet appareil ne connaît qu'un succès mitigé.

Igor Sikorsky est considéré à juste titre comme le père de l'hélicoptère moderne. Après avoir émigré aux États-Unis, il se livre, dès 1907, à des expériences sur l'hélicoptère. En 1938, alors qu'il s'était déjà distingué dans la conception d'aéronefs à voilure fixe, il aborde à nouveau le problème de l'hélicoptère. Dès 1941, il réalise le VS300 qui comprend un rotor principal et trois rotors auxiliaires sur la queue. Vers le milieu de cette même année, Sikorsky établit un nouveau record d'endurance sur son appareil en restant en l'air pendant une heure et trente deux minutes. Dès lors, le VS300 se métamorphose et sort de sa chrysalide sous la forme qu'on connaît actuellement à l'hélicoptère. Ce faisant, Sikorsky vient de construire un hélicoptère relativement simple et parfaitement pilotable. Le VS300 donne rapidement lieu à plusieurs autres modèles d'hélicoptères monorotors que l'armée et la marine achètent à plusieurs centaines d'exemplaires au cours de la Seconde Guerre mondiale.

C'est probablement en raison de son importance stratégique en Corée et au Vietnam que l'hélicoptère a été perfectionné au point d'aboutir à ce qu'il est aujourd'hui. Le recours aux turbines a permis d'éliminer les problèmes de pilotage qui se posaient sur les modèles plus anciens, équipés de moteurs alternatifs.

Fait peu connu, Sikorsky répugnait à effectuer des démonstrations de ses premiers modèles devant ses clients potentiels, préférant leur présenter des films. Des années plus tard, il a confessé la raison pour laquelle il avait agi ainsi. Il semble que les premiers modèles expérimentaux étaient extrêmement instables, au point que leur comportement en vol en était presque comique. Sikorsky a préféré faire filmer les démonstrations et les montrer en salle, au ralenti. Ainsi, les soubresauts en vol prenaient l'apparence d'évolutions élégantes qui attestaient la souplesse de l'appareil.

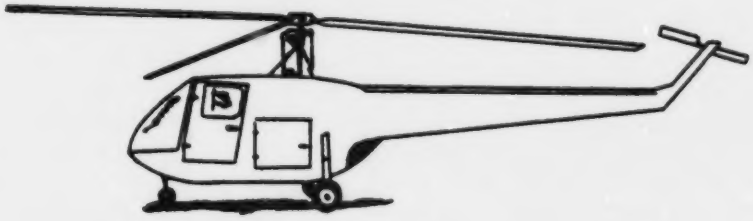


Fig. 2-5 Sikorsky S-52-1

Lorsqu'il est question d'hélicoptères, on ne peut ignorer la contribution qu'apportèrent des inventeurs comme La Cierva avec son autogire. En effet, la conception de l'hélicoptère tire plusieurs de ces principes de l'autogire, appareil qui a démontré que la sustentation pouvait être assurée par voilure tournante. La Cierva effectue ses premières expériences au lendemain de la Grande Guerre, en 1919. Tout d'abord, il n'envisage pas de grande différence entre son appareil et un avion puisqu'il va conserver la voilure inférieure sur tous ses modèles. Il échoue avec un premier

appareil à rotors contrarotatifs. En 1921, il construit un deuxième modèle comportant un rotor dont les trois pales sont fixées au moyeu sans articulation. L'effet gyroscopique empêche l'appareil de voler. Il n'a pas plus de succès en 1922 avec un nouveau rotor à cinq pales fixées de la même façon. Cette fois-ci, sur le point de décoller, l'appareil bascule et s'écrase. Enfin, La Cierva vient de déceler le problème: il s'agit de la dissymétrie de portance.

Vers la fin de 1922, La Cierva construit un quatrième modèle dont les quatre pales du rotor sont articulées au niveau des moyeux, ce qui permet à l'effet naturel de l'écoulement de l'air de compenser la dissymétrie de portance. En janvier 1923, La Cierva parvient à convaincre un de ses amis pilote de prendre les commandes de son appareil et de s'élever à 600 pieds du sol. Deux semaines plus tard, ce même appareil parcourt 2,5 milles en trois minutes et trente secondes à une hauteur de 100 pieds. La stabilité est stupéfiante et le pilote peut exécuter nombre de manoeuvres à sa guise. L'autogire monte sous un grand angle, se déplace sans décrocher à une vitesse très réduite et se pose sans course à l'atterrissage. En 1926, La Cierva obtient de la Grande-Bretagne le financement nécessaire à la création d'une compagnie, la "Cierva Autogyro Company Limited". En 1928, il traverse la Manche seul à bord de son autogire et, par petites étapes, parcourt 3000 milles d'un bout à l'autre de l'Europe.

La même année, Harold Pitcairn obtient les droits de construire sous licence des autogires à Philadelphie. Une firme assure la production des autogires en France et en vend 40 à l'Armée de l'Air française qui s'en servira pour la reconnaissance. L'Armée de Terre américaine achète un appareil et, dans la foulée, la Marine en commande trois. Un autogire se pose sur la pelouse de la Maison Blanche, au son de la fanfare, pour être inspecté par Herbert Hoover. On compte bientôt 90 autogires aux États-Unis, et trois sociétés qui en construisent: Pitcairn, Kellett et Buhl.

L' "Army Air Corps" se livre à une évaluation complète de ce nouveau type d'aéronef. Un des premiers pilotes, le lieutenant Gregory, déclare après cent heures d'essai que l'autogire surpasse nettement le ballon d'observation, mais que pour l'observation, il ne rivalise pas avec l'avion.

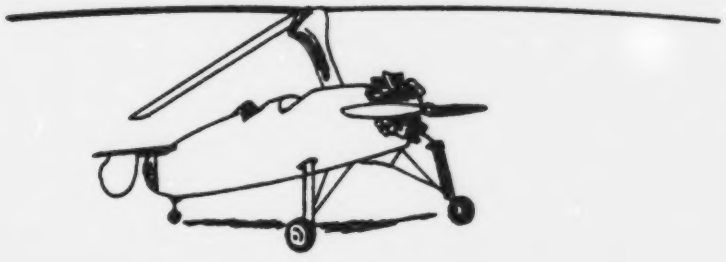


Fig. 2-6 Kellett VG-1GB

Selon Gregory, l'autogire ne peut servir qu'à former du personnel pour piloter et entretenir des autogires. Il admet cependant que cette machine lui a donné une idée de ce que serait l'hélicoptère plus tard.

L'histoire canadienne offre plusieurs exemples de contribution à l'évolution de l'hélicoptère, contributions aussi remarquables que méconnues. Les vastes étendues inhabitées du Canada constituent un milieu idéal pour la mise au point de l'hélicoptère.

En 1921, trois frères, Doug, Nicholas et Theodore Froebe quittent leur ville natale de Chatsworth, dans l'Illinois, pour s'installer près de la petite ville rurale de Homewood, au Manitoba. Au cours de la Première Guerre mondiale, Doug Froebe avait vu maintes fois des avions survoler sa ferme de l'Illinois, ce qui avait éveillé son intérêt pour l'aviation. Plus jeune, il construisait des maquettes d'avions en bois, avec des bardeaux et tout ce qu'il pouvait trouver.

En 1927, les trois frères construisent un "Heath Parasol" et tentent, sans expérience préalable, de le piloter. Malheureusement, l'appareil est sous-motorisé, et les garçons sont quelque peu inexpérimentés: ils se retrouvent dans les barbelés qui entourent la ferme. Cet accident, suivi d'un deuxième, les incitent à envisager la construction d'un hélicoptère.

Les pronostics plus ou moins encourageants de divers organismes (le proviseur du Curtiss School of Aeronautics affirme à Doug que le vol vertical est impossible) ne découragent pas les frères Froebe qui entreprennent la construction d'un hélicoptère. Ils se procurent les pièces, en "cannibalisant" divers véhicules. Ainsi, les pédales de palonnier sont des accélérateurs de Ford T et la commande de pas collectif n'est autre qu'un cric, de Ford T également. Le moteur, un Gypsy Sirus acheté pour 100 dollars en Californie, est lié à une transmission constituée de couronnes dentées et d'un pignon provenant d'une camionnette Chevrolet.

Pour résoudre les problèmes du couple, les frères équipent leur appareil de deux rotors contrarotatifs. La commande de pas collectif, par l'intermédiaire d'un axe, modifie le pas des deux rotors tandis que la commande de pas cyclique n'est liée qu'au rotor inférieur. Les pédales modifient le couple en augmentant le pas du rotor supérieur et en diminuant celui du rotor inférieur, ce qui assure le pilotage en direction.

Doug Froebe décrit son premier vol en ces termes: "Lors de la première tentative, la queue s'est élevée d'environ 3 pieds. J'ai tiré sur le manche et les roues avant ont quitté le sol une à une. Nous avions placé le réservoir de carburant (à moitié plein) vers l'arrière, ce qui a aidé à équilibrer l'appareil qui restait néanmoins un peu lourd du nez. Nous avons essayé de nouveau. À trois ou quatre reprises, l'appareil s'est élevé de 5 pieds et a parcouru une distance de 50 pieds. Mon frère cadet a voulu essayer. D'après lui, mes efforts manquaient de conviction. Il s'est alors installé dans l'appareil et l'a essayé à son tour. Il en est sorti tellement bouleversé qu'il n'a pu remonter une deuxième fois."

"C'était une expérience pénible. Les pales, en raison de leur grande vitesse circonférentielle, produisaient un bruit de résonnance qui était renvoyé par les silos. Aujourd'hui encore, lorsque j'entends un hélicoptère, avec ce bruit de battement des pales dans l'air, j'en éprouve des frissons."

Malheureusement, l'appareil éprouve de sérieux problèmes de rupture de paliers et les frères se voient contraints d'abandonner. Par la suite, Nicholas et Theodore trouveront tous deux la mort dans des accidents d'aviation. Nick sera tué en "Aeronca Champion" en vol d'épandage et Theodore s'écrasera en "Heath Parasol", au cours d'une séance d'acrobatie.

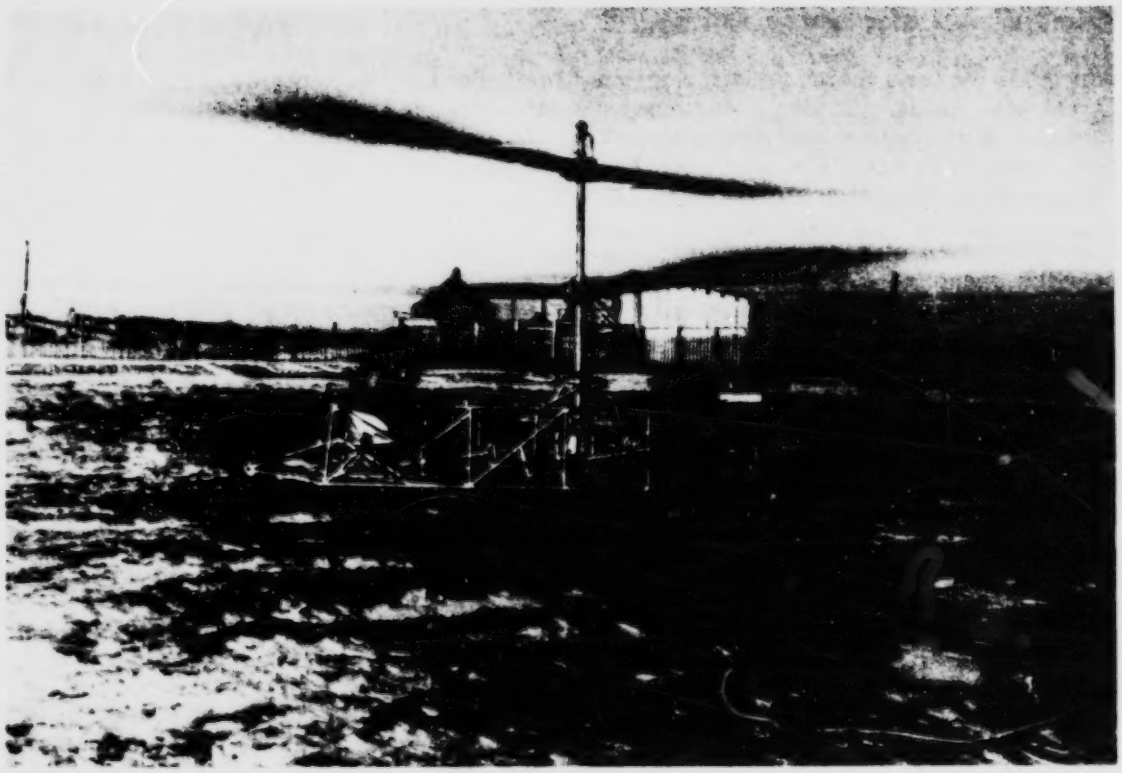


Photo 2-2

(Avec les compliments du Western Canadian Aviation Museum)

L'hélicoptère des frères Froebe est exposé au Western Canada Aviation Museum, 11, rue Lily à Winnipeg.

Jack Charleson, natif d'Ottawa, est le seul pilote civil canadien d'hélicoptères qui a été formé pendant la Deuxième Guerre mondiale. La chance aidant, il a réussi à être admis en stage de formation sur Sikorsky R-4, le premier hélicoptère de série. Lorsque le 31 juillet 1945, il termine son cours, avec 17 heures et 10 minutes de vol, il est devenu le premier pilote civil d'hélicoptère du Canada.

Après la fin de la guerre, le nombre de pilotes qualifiés dépasse de loin celui des emplois disponibles. Certains misent alors sur l'hélicoptère et suivent un cours de formation au "Bell Training Center", à Buffalo. Parmi les premiers, on compte Al Soutar, Tommy Noakes, Paul Ostrander, Jimmy Sampson et Sten Lindberg, qui, en mars 1947, assurera le convoyage à Toronto du premier Bell 47B-3 immatriculé (CF-FJA) au Canada.

Le premier accident connu d'hélicoptère se produit en juin 1947, lorsque Paul Ostrander doit, aux commandes de son CF-FQR, se poser d'urgence en autorotation près de Red Lake, en Ontario. Un mois plus tard, au cours d'un vol d'épandage au Manitoba, Jimmy Sampson s'écrase après avoir heurté un poteau téléphonique.

C'est sur la côte du Pacifique qu'un pilote de brousse a pris conscience des possibilités de l'hélicoptère en agriculture. Il s'agit de Carl Agar qui fonde en 1947, avec un seul appareil (le CF-FZX) la Okanagan Helicopters Ltd., appelée à devenir l'une des plus grosses compagnies d'exploitation d'hélicoptères du monde. Malheureusement, le CF-FZX sera endommagé en heurtant des fils électriques un mois seulement après son entrée en service.

Ayant obtenu quelques contrats pour transporter des arpenteurs en montagne, Agar se retrouve parmi les premiers à pratiquer le vol de montagne en hélicoptère, ce qui lui vaudra le trophée McKee en 1950. Par la suite, Bud Tillotson raffinera certaines des techniques du vol en montagne et deviendra l'un des meilleurs spécialistes du domaine.

La compagnie Okanagan Air Services participe au projet d'aménagement hydro-électrique de Kitimat-Kemano, où Alcan fait construire une usine d'affinage de l'aluminium. La nécessité de recourir au transport aérien pousse Agar à acheter le premier S-55 immatriculé au Canada, un appareil considéré à l'époque comme un hélicoptère à grande capacité d'emport.

C'est en 1950 que le ministère des Transports découvre les possibilités de l'hélicoptère en tant qu'auxiliaire de la navigation maritime dans le nord. Le brise-glace CD Howe appareillé avec un S-51 sur le pont arrière est transformé en hélisurface. Malgré un accident qui cause la perte de l'hélicoptère et la mort d'un passager (certaines cordes d'arrimage n'avaient pas été détachées avant le décollage), le MDT est convaincu de l'importance de l'hélicoptère et il acquiert un Bell 47 pour d'autres essais. C'est grâce à ces premières tentatives que, de nos jours, la Garde côtière canadienne exploite une importante flotte d'hélicoptères.

Il s'en faut de peu pour qu'en 1946-1947 le Canada se joigne au nombre des pays producteurs d'hélicoptères. Un ingénieur en aéronautique, un Polonais du nom de Bernard W. Sznycer, conçoit un hélicoptère et construit un prototype qui effectue un premier vol en 1947. Le pilote d'essai, Henry J. Eagle Jr., décrit le petit hélicoptère triplace (le SG-VI-C baptisé "Grey Gull"), comme étant un excellent appareil. Après des essais menés selon un programme rigoureux, il devient le premier hélicoptère certifié dans le Commonwealth Britannique. Ironie du sort, les commanditaires de Sznycer se désistent au moment où celui-ci achève les plans pour la construction en série de l'appareil. Le projet "Grey Gull" est mort dans l'oeuf.

L'histoire même de l'hélicoptère révèle que l'aéronef à voilure tournante n'a pas suscité autant d'intérêt que l'avion et l'étude d'une machine a souvent été réalisée avec des moyens limités. De plus, la technologie de l'hélicoptère avait un retard de plusieurs années sur celle de l'avion. En raison peut-être de sa nature essentiellement utilitaire, ou simplement parce qu'il est moins connu, l'hélicoptère n'est pas auréolé du prestige des avions à réaction qui volent plus haut, plus vite et ont une silhouette plus élégante. Obnubilés par l'avion classique, ceux qui oeuvrent dans le domaine, tant en technique qu'en médecine, ignorent presque tout des problèmes essentiels du vol de l'hélicoptère. Il est donc temps que ce dernier soit considéré non plus comme un camion volant muni d'un rotor mais plutôt comme une machine originale, entièrement différente de l'aéronef à voilure fixe!

Il est bien certain que le pilote d'hélicoptère fait face à des problèmes particuliers et que cette machine si complexe fait appel à des ressources infinies de patience et de compétence. Il suffit de considérer le nombre d'accidents d'hélicoptères (à comparer aux accidents d'avions) pour se convaincre que de graves lacunes demeurent et qu'il reste beaucoup de travail à accomplir dans ce secteur bien défini de l'aviation. Comme l'hélicoptère offre de nouvelles perspectives à l'aéronautique, il faut déceler de façon plus précise ses difficultés de mise en oeuvre, trouver des solutions et informer les constructeurs pour parvenir à une utilisation permettant à l'homme et à la machine d'atteindre leur pleine efficacité. Cette conclusion s'applique plus particulièrement au Canada, où l'exploitation et l'exploration du Nord reposent en grande partie sur l'aviation, où les hélicoptères sont employés pour défricher et ravitailler ces vastes étendues inhospitalières mais fort prometteuses.

CHAPITRE III

PRINCIPES D'AÉRODYNAMIQUE

Par Hugo Leech

Dans notre conception au sens large de la médecine aéronautique, nous en sommes venus à ne plus considérer la machine et le pilote comme deux entités distinctes mais plutôt comme deux parties interdépendantes d'un même ensemble homme-machine. Ainsi, le lien direct qui existe entre l'homme et la machine fait l'objet d'une attention toute particulière dans le cadre des études sur les facteurs humains. Afin de comprendre les facteurs qui le concernent, il est donc essentiel de posséder une certaine connaissance de l'hélicoptère et de la façon dont il vole.

La conception de toute surface portante repose sur un principe de base. Lorsque l'aile se déplace dans l'air, il y a apparition d'une pression différentielle parce que les filets d'air sont accélérés à l'extrados et qu'ils conservent leur vitesse à l'intrados. Étant donné que la vitesse et la pression sont inversement proportionnelles, il y a naissance d'une force dirigée vers le haut (la portance) qui, lorsqu'elle égale le poids de l'appareil, permet à celui-ci de voler.

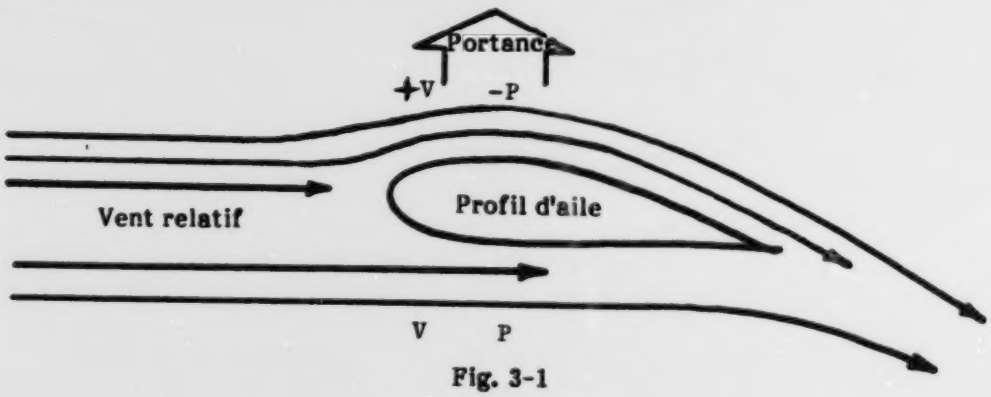


Fig. 3-1

La portance varie selon l'angle formé entre le profil et le vent relatif, selon la densité de l'air, l'épaisseur et la forme du profil, ainsi que selon la vitesse de déplacement.

Les surfaces portantes d'un avion, les ailes, sont montées avec un angle d'incidence fixe, ce qui signifie que l'appareil doit parcourir une certaine distance sur la piste avant de pouvoir s'envoler et qu'il lui faut conserver une certaine vitesse pour éviter "la chute fatale" décrite par les frères Wright. Les surfaces portantes d'un hélicoptère, quant à elles, produisent la portance par rotation. En outre, l'angle sous lequel elles rencontrent les filets d'air peut être modifié par le pilote. Ainsi, il n'est pas nécessaire que l'hélicoptère avance pour pouvoir décoller, il peut s'élever verticalement, rester en vol stationnaire et se déplacer sur le côté ou en arrière.

C'est là bien sûr un avantage considérable, particulièrement lorsqu'on manque d'espace pour construire une piste. Cependant, comme vous le constaterez à la lecture des pages suivantes, cet avantage est chèrement payé: tant sur le plan aérodynamique que mécanique, l'hélicoptère est incroyablement complexe; en fait, beaucoup de pilotes d'avion vous diront qu'il est, tout comme le bourdon, une "impossibilité aérodynamique".

VOL EN STATIONNAIRE

Photo 3-1

Le déroulement du vol type d'un hélicoptère vous donnera une certaine idée des difficultés auxquelles le concepteur doit faire face. Les problèmes se posent dès que le pilote lance le moteur et que les rotors se mettent en mouvement. L'extrémité d'une pale de rotor se déplace forcément plus vite que son emplanture (le pied de pale). Étant donné que la vitesse est une composante de la portance, la force verticale ascendante à laquelle est soumise la pale est plus importante à l'extrémité de celle-ci qu'à son emplanture (le pied de pale). C'est pourquoi, à moins d'effiler la pale ou de réduire progressivement, du pied à l'extrémité, l'angle nominal sous lequel elle rencontre les filets d'air, il y a apparition de forces de torsion inacceptables.

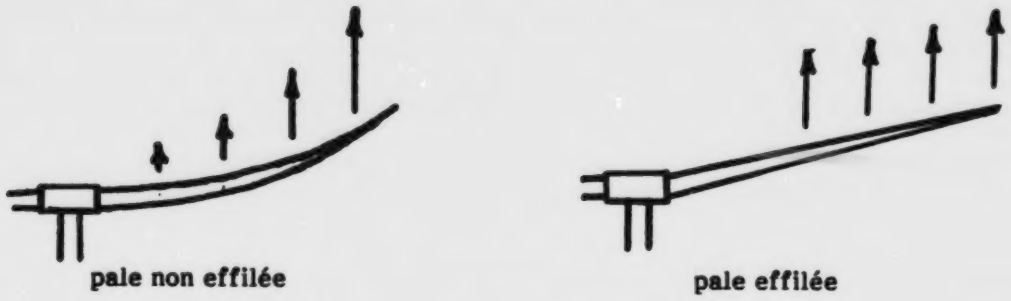


Fig. 3-2

Lorsque les pales prennent de la vitesse, la force centrifuge augmente à un tel point que si l'on exprime la portance, la poussée, le poids et la traînée en livres, on a plutôt recours à la tonne pour la force centrifuge. Bien qu'à cause d'elle les points d'attache, au niveau du moyeu, doivent être très résistants, cette force revêt une importance vitale pour la sécurité du vol. Les pales d'hélicoptère ne peuvent soutenir le poids de l'appareil que si elles sont en rotation et conservent leur rigidité grâce à la force centrifuge.

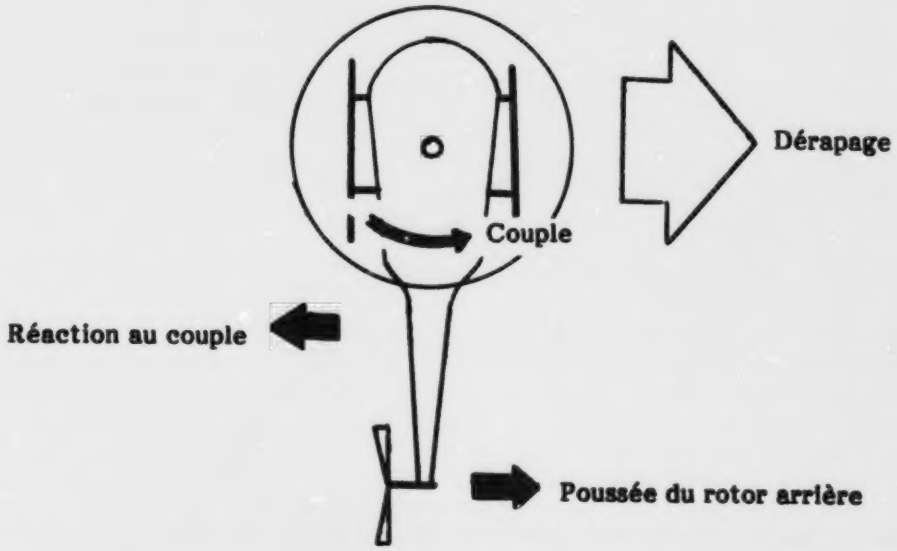


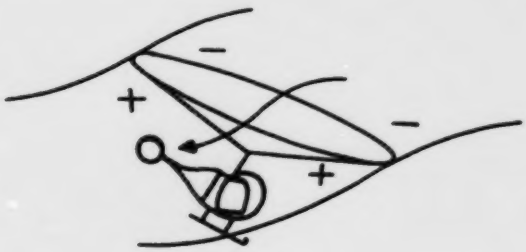
Fig. 3-3

Si l'hélicoptère est posé sur l'eau ou sur un sol verglacé, une autre difficulté doit être surmontée dès le démarrage. Les pales en rotation produisent un couple qui, s'il n'est pas compensé, provoque en sens inverse et à la même vitesse une rotation de l'hélicoptère. Si celui-ci repose sur un sol ferme, ce phénomène n'apparaît pas avant qu'il ait quitté le sol.

Il y a plusieurs façons de résoudre les problèmes que posent les couples d'entraînement et de réaction. La solution de loin la plus répandue consiste à munir l'hélicoptère d'un rotor de queue. Tout comme pour la force centrifuge, on tire avantage de la poussée du rotor de queue que le pilote peut faire varier pour modifier le cap de l'hélicoptère.

Mais il ne s'agit là que d'une solution partielle car le couple d'entraînement étant inférieur au couple de renversement, il faut compenser le couple qui en résulte par un moment; il faut donc placer le rotor de queue à une certaine distance du centre de gravité. Cependant, le moment de la force créée par le rotor de queue tend à entraîner l'appareil en translation latérale (dérapage). Afin de pallier au mieux cet inconvénient, le constructeur peut régler le calage des gouvernes en conséquence ou laisser au pilote le soin de corriger le dérapage à la demande.

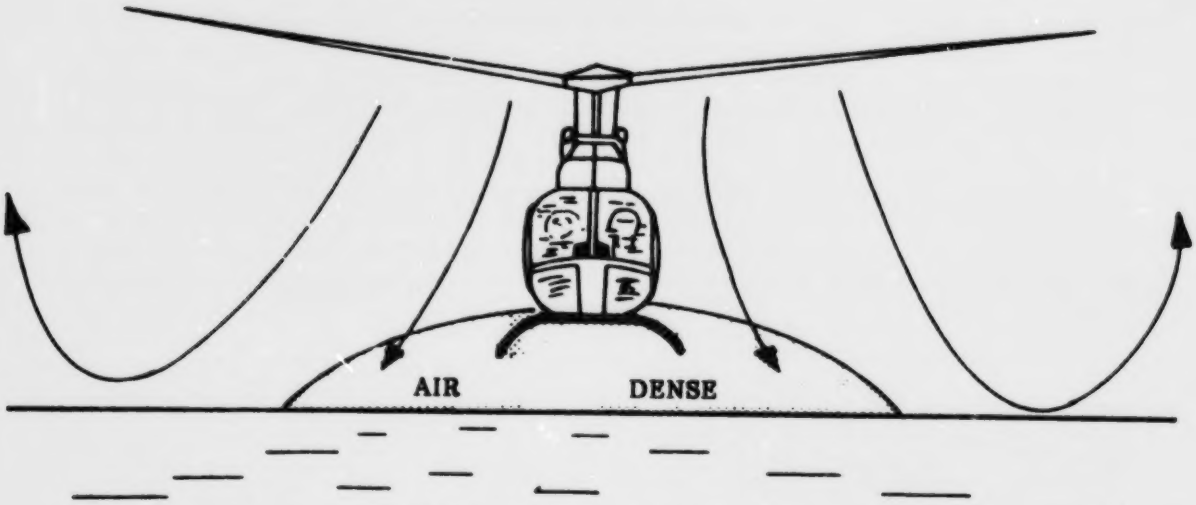
D'après la figure 4, on peut constater que l'air, après être passé sur l'extrados de la pale, est dévié vers le bas. Le nombre de pales d'un rotor tournant à grande vitesse amplifie cet effet et produit une colonne d'air descendante autrement connue sous le nom de "souffle du rotor" ou déflexion vers le bas. En translation avant, ou par vent fort, ce souffle du rotor s'éloigne du disque du rotor, ce qui réduit en fait la vitesse de l'écoulement d'air traversant le disque rotor vers le bas.



Souffle de rotor en translation avant

Fig. 3-4

Il peut être intéressant de noter que cette diminution de vitesse augmente la portance produite. De ce fait, il faut moins de puissance pour se maintenir en vol stationnaire dans l'effet de sol que hors de l'effet de sol. Par contre, le pilote éprouve plus de difficultés à maîtriser son hélicoptère qui, près du sol, a tendance à être beaucoup plus instable.



Souffle du rotor dans l'effet de sol

Fig. 3-5

LES COMMANDES DE VOL

Avant de poursuivre cet aperçu, il est nécessaire de donner une idée des commandes de vol de l'hélicoptère. Le levier de pas cyclique, qui permet d'agir en roulis et en tangage, sert également à monter, à descendre et à modifier le cap en croisière. Cette commande modifie l'angle d'incidence de chacune des pales, de façon cyclique, et fait incliner le disque du rotor dans la direction voulue. Étant donné que le disque du rotor possède certaines des propriétés de gyroscope, il faut faire en sorte que les commandes agissent en tenant compte du phénomène de précession, autrement dit avec un décalage de 90°. Le manche de pas cyclique, que l'on tient dans la main droite, est extrêmement sensible. Seuls de faibles mouvements du poignet sont nécessaires pour obtenir les réactions voulues. On apprend au pilote à ne jamais lâcher le manche cyclique, ce qui fait que le commandant de bord d'un hélicoptère est assis en place droite, alors que c'est l'inverse sur avion. De ce fait, il garde la main gauche libre pour manipuler les commandes auxiliaires, s'occuper de la radio ou faire autre chose.

La main gauche est également réservée à l'utilisation du levier de pas collectif, qu'on appelle aussi pas général. En tirant cette commande ou en la poussant, le pilote modifie l'angle d'incidence sur toutes les pales à la fois, d'où le nom de "collectif", faisant ainsi monter ou descendre l'hélicoptère. Si cette commande est correctement réglée, elle est moins sensible que la commande de pas cyclique.

Sur de nombreux types d'hélicoptères, une poignée tournante se trouve sur la partie supérieure du levier de pas collectif, qu'on appelle tout simplement "collectif" dans la pratique. En tirant sur le collectif, l'augmentation de portance des pales du rotor engendre une augmentation de traînée qu'il faut compenser en augmentant la

puissance du moteur. Sur les machines plus modernes, et particulièrement sur celles qui sont équipées de moteurs à turbine, ces variations de puissance sont assurées automatiquement par un régulateur intégré au circuit carburant mais, sur les anciens hélicoptères à pistons, le pilote doit modifier le régime du moteur chaque fois qu'il augmente ou diminue le pas collectif. En fait, il évolue dans une plage de régime très faible. S'il dépasse les limites établies par le constructeur, il risque d'imposer une contrainte trop importante à l'ensemble rotor à cause de l'augmentation de la force centrifuge qui en résulte. Par contre, s'il descend en-dessous de ces limites, la force centrifuge devient insuffisante pour que le rotor conserve son régime et sa portance, et il y a diminution de la surface effective du disque rotor au cours de la descente qui s'ensuit.

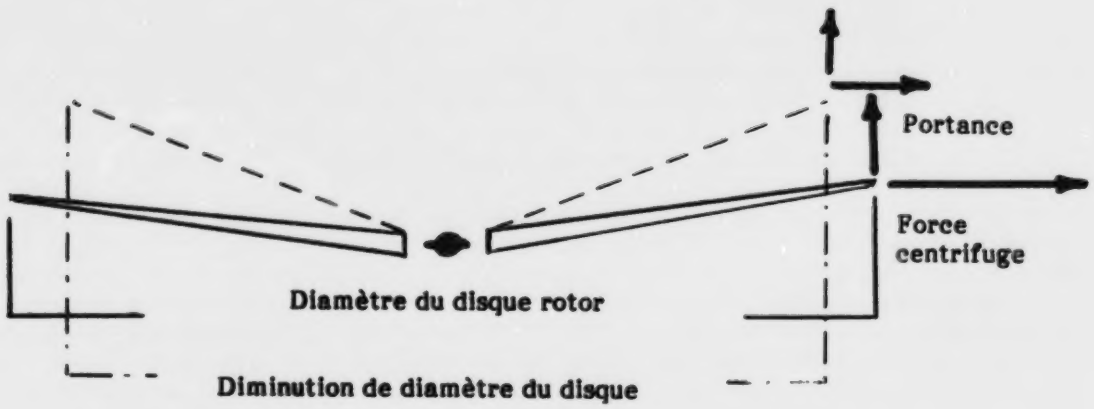


Fig. 3-6

Le palonnier (les pédales), avec lequel on fait varier le pas des pales du rotor de queue, sert à contrôler le cap de l'hélicoptère en stationnaire et à maintenir la symétrie du vol en croisière. Toute modification du pas collectif nécessite une action sur le palonnier pour empêcher l'hélicoptère d'effectuer une rotation en lacet.

LE VOL EN TRANSLATION

Photo 3-2

Pour passer du vol stationnaire au vol en translation, le pilote pousse légèrement le levier de pas cyclique. Trois phénomènes, plus ou moins simultanés, apparaissent alors: dissymétrie de portance, perte d'effet de sol et apparition d'une portance de translation.

On appelle dissymétrie de portance (ou dissymétrie de poussée) le phénomène par lequel la pale avançante (pale du rotor se déplaçant dans la même direction que l'hélicoptère, voir figure 3-7) produit plus de portance que la pale reculante.

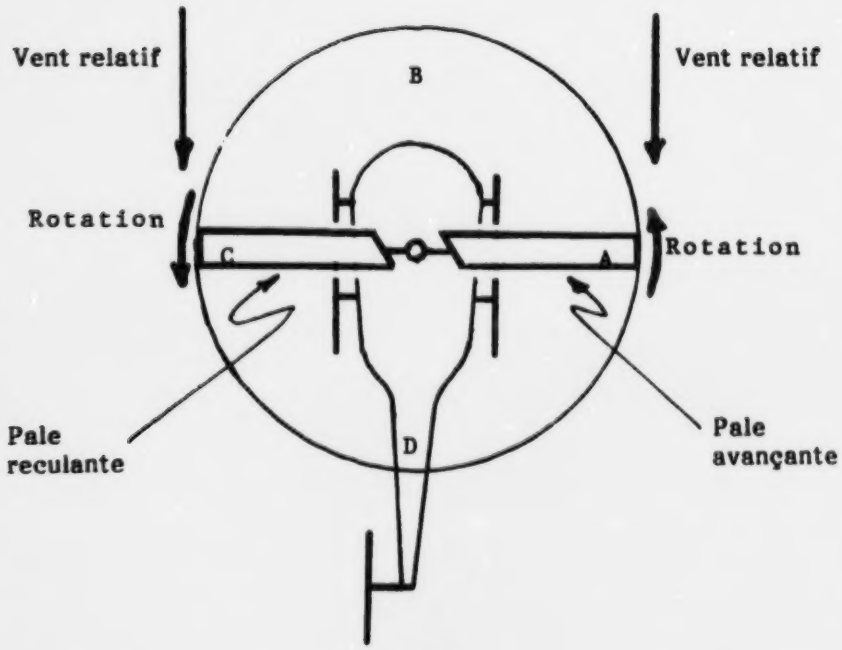


Fig. 3-7

Si l'on considère la pale de la figure 3-7 entre le point D et le point B, on constate que sa vitesse circonférentielle s'oppose à la vitesse du vent relatif et donc que ces deux vitesses s'additionnent. Par contre, c'est l'inverse qui se produit entre les points B et D. Le moyen le plus courant de corriger cette dissymétrie de vitesses, et donc de portance, consiste à équiper la pale d'un axe de battement. La pale qui est ainsi articulée au niveau du moyeu dans le plan vertical peut monter lorsqu'elle "avance" et descendre lorsqu'elle "recule". Cependant, si l'on parvient ainsi à compenser la dissymétrie de portance, le pilote doit combattre le "basculement du rotor", c'est-à-dire le basculement complet du disque rotor vers l'avant ou vers l'arrière.

Le battement des pales peut devenir préoccupant, particulièrement lorsque le rotor d'hélicoptère comporte plus de deux pales. Le battement a tendance à faire déplacer le centre de gravité de la pale par rapport à son axe de rotation et, de ce fait, la pale qui bat est portée à accélérer ou à ralentir par rapport aux autres pales. Il peut en résulter d'importantes vibrations, sauf si le constructeur a prévu d'incorporer un dispositif de limitation du débattement dans le plan horizontal. C'est pourquoi on a prévu un axe de traînée qui, avec l'aide d'un amortisseur, permet d'éviter que ces déplacements ne prennent trop d'ampleur.

Là encore, bien que les axes de traînée minimisent les effets néfastes du battement, leur montage peut poser un problème particulier. Il s'agit de la résonnance avec le sol, qui désigne le couplage divergent des oscillations de l'appareil sur son train et du mouvement des pales du rotor (celles des appareils équipés d'un moyeu articulé sont particulièrement sujettes à ce genre de vibrations). Bien que ce phénomène apparaisse surtout lorsqu'on ne respecte pas les spécifications du constructeur, certains hélicoptères entrent en résonnance avec le sol même dans les limites d'utilisation. Ces vibrations augmentent très rapidement et elles peuvent, au bout de quelques secondes, provoquer la destruction de l'appareil par basculement.

Avec ses axes de battement et de traînée, avec ses amortisseurs, ses butées statique et dynamique - pour éviter un battement excessif - et avec aussi ses mécanismes de variation de pas, la tête du rotor est un ensemble très massif et très complexe. Au cours des dernières années, la mise au point des résines époxy, des fibres de verre et des métaux à longue durée de vie a permis aux constructeurs de réaliser des ensembles rotor beaucoup plus simples sur le plan mécanique.

Par vent nul, lorsque l'hélicoptère se déplace vers l'avant, il quitte l'effet de sol (par fort vent, il est tout de suite hors de l'effet de sol). Puis, il a tendance à s'enfoncer, tendance que le pilote accentue en commençant par déplacer le manche cyclique vers l'avant pour convertir une partie de la portance verticale en poussée horizontale. Pour empêcher cet enfoncement, il doit augmenter la puissance au pas collectif et neutraliser, au pied, le lacet qui résulte de cette augmentation de pas.

Aux environs de 12 à 15 mi/h, l'hélicoptère acquiert une portance en translation. La vitesse de déplacement provoque une diminution de la masse d'air qui s'écoule à travers le disque du rotor et, comme nous l'avons déjà indiqué, elle augmente la portance effective du rotor.

BASCULEMENT DYNAMIQUE

Un des problèmes aérodynamiques qui se présente de plus en plus fréquemment sur hélicoptère est le "basculement dynamique". Si, sur un navire, on met un hélicoptère en stationnement, sans l'amarrer sur le pont, il est évident qu'il risque de basculer sur le côté à cause du roulis. Il serait alors question d'un "basculement statique". Le basculement dynamique, lui, se produit lorsque le pilote décolle, et il survient à un angle d'inclinaison nettement inférieur à celui du basculement statique. Dans le cas du basculement dynamique un patin est retenu au sol par un obstacle comme une souche, des rochers ou de la glace. Lorsqu'il sent que l'hélicoptère s'incline d'un côté, le pilote essaie naturellement de le ramener à l'horizontale en augmentant le pas cyclique en sens opposé et en tirant sur le levier de pas collectif afin de se dégager de l'obstacle. Cette erreur, bien sûr, peut être fatale. Le taux de roulis est augmenté car l'inclinaison de la portance donne lieu à une traction. Le point d'application de ces forces est situé nettement au-dessus du centre de gravité et le taux de roulis augmente rapidement, au point qu'il est impossible de l'annuler, même en mettant du cyclique à fond en sens opposé.

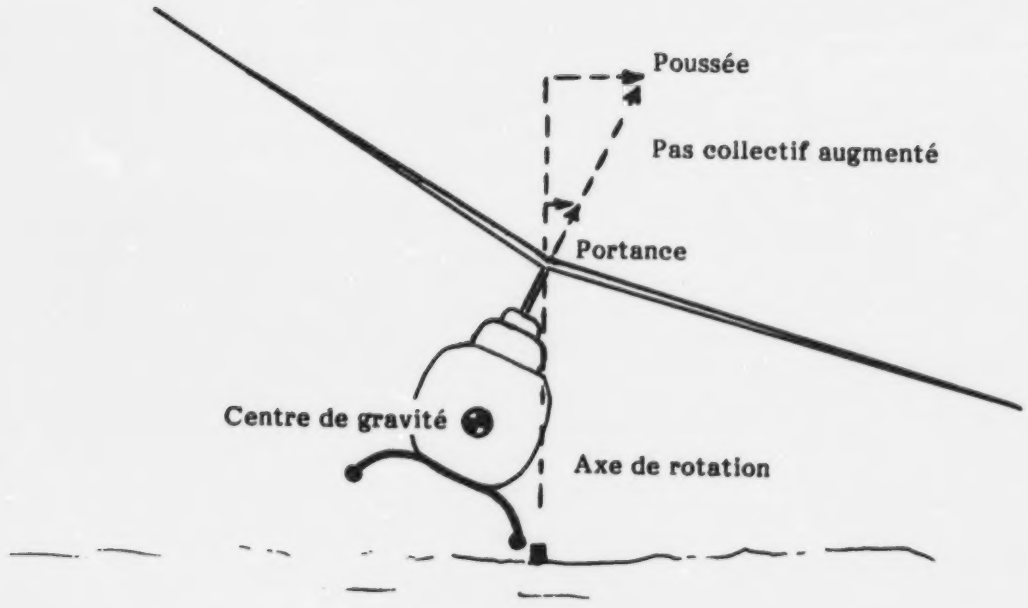


Fig. 3-8

RÉGIME D'ANNEAUX TOURBILLONNAIRES

Tout profil qui produit une portance laisse derrière lui un sillage turbulent. Cet air perturbé prend généralement la forme de tourbillons qui se forment à l'extrémité de la pale ou de l'aile. Un avion laisse nécessairement cette turbulence derrière lui et cette turbulence ne cause de réels dangers que pour les autres appareils qui s'en approchent trop. Étant donné ses grandes qualités manoeuvrières, l'hélicoptère peut passer dans son propre sillage. On dit alors qu'il se retrouve en régime d'anneaux tourbillonnaires. Ce phénomène n'est pas courant, mais il peut se produire si la vitesse verticale de descente est assez élevée et si la vitesse de translation est faible ou nulle.

Le résultat est dramatique: l'air turbulent perturbe la portance et la traction au niveau du rotor, ce qui entraîne une perte de maîtrise quasi totale. La vitesse verticale de descente, déjà importante, est augmentée et ne peut plus être réduite par la modification pourtant logique du pas collectif.

Il faut disposer de plusieurs centaines de pieds afin de pouvoir sortir de cette situation pour le moins scabreuse et, comme celle-ci risque surtout de se produire en approche, une pareille marge est rarement disponible.

AUTORISATION

On croit souvent à tort, comme les frères Wright eux-mêmes, que l'hélicoptère est voué à l'écrasement en cas de panne de moteur. Certains profanes se plaisent à décrire de façon morbide comment, dans ce cas, l'appareil bascule queue par dessus tête, courant vers une destruction certaine. La réalité est bien différente. En fait, l'hélicoptère est totalement manoeuvrable et pilotable après une panne de moteur et il présente même l'avantage, par rapport à l'avion, de n'avoir besoin que d'une zone d'atterrissage de la dimension d'un court de tennis pour se poser en toute sécurité.

Bien sûr, le pilote doit réagir très rapidement en cas de panne de moteur. La traînée, sous-produit de la portance des pales, est compensée par la puissance du moteur qui entraîne le rotor. Faute de moteur, la traînée freine très rapidement les pales, ce qui provoque une diminution de portance au point où l'hélicoptère ne peut plus rester en palier. Le pilote, qui doit dans ces conditions supprimer très vite cette traînée, ne dispose que d'une seconde, deux au plus, pour abaisser le levier de pas collectif avant que la diminution de régime ne soit irréversible.

On appelle autorotation la descente qui en résulte. Ce n'est pas l'inertie qui fait tourner le rotor; en fait, les pales sont entraînées par le vent relatif au cours de la descente provoquée par la diminution du pas collectif. Il n'y a pas de limite et l'hélicoptère ne peut descendre en autorotation aussi longtemps qu'il le faut. Une des autorotations les plus longues a été commencée à 30 000 pieds et a duré 15 minutes.

Après une panne de moteur et le passage en autorotation, le pilote peut virer face au vent et choisir un terrain pour se poser en sécurité. La finesse se situe aux environs de 1/4 et la vitesse verticale de descente aux alentours de 1500 à 2000 pieds par minute. À partir des altitudes généralement basses auxquelles il évolue, l'hélicoptère se retrouve assez rapidement au sol.

Toujours en autorotation, à environ 100 pieds du sol, le pilote cabre l'appareil au cours de l'arrondi pour réduire sa vitesse de translation qui, jusqu'alors, était de 45 à 70 mi/h, et aussi pour diminuer sa vitesse verticale de descente. À environ 10 pieds du sol, il tire une fois sur le levier de pas collectif: c'est le "premier soutien" qui freine suffisamment la descente pour amortir l'atterrissage. Il s'ensuit généralement un atterrissage glissé sur une distance de 25 pieds et, dans les conditions optimales, l'hélicoptère peut se poser en douceur sans aucune vitesse de translation.

Malgré tout, il se trouve ceraines régions du domaine de vol où les chances d'atterrir en sécurité à la suite d'une panne de moteur sont réduites. Chaque manuel de vol d'hélicoptère contient le "diagramme de mort" qui indique les limites de ces zones. Le pilote prudent prendra donc soin d'éviter de voler dans les zones ombrées de ce diagramme, si cela lui est possible.

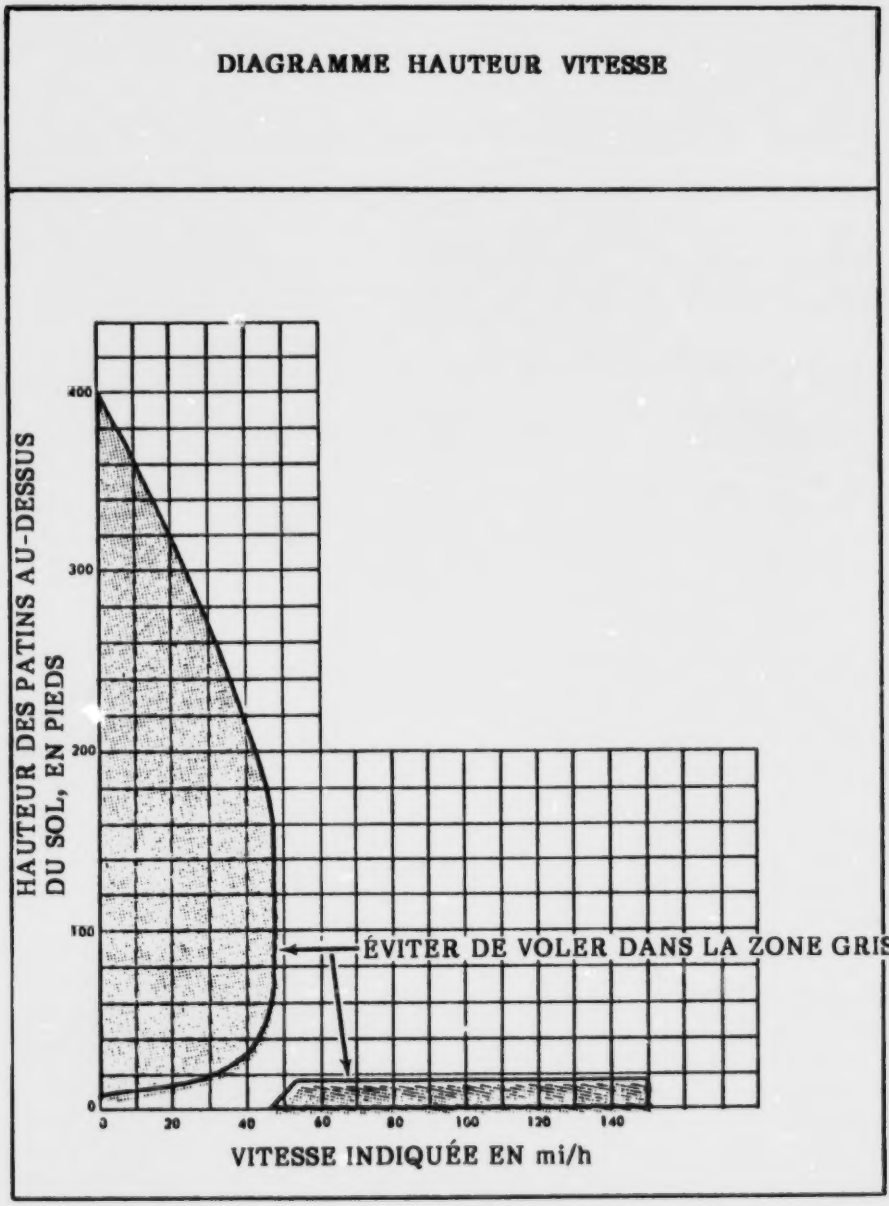


Diagramme hauteur vitesse
("Diagramme de mort")

Fig. 3-9

Les autorotations sont des manoeuvres exigeantes, nécessitant une très grande précision et beaucoup de jugement, ce qui ne peut être obtenu que grâce à un entraînement poussé et ce qui ne peut être conservé que par la pratique. La formation aux autorotations soulève en fait un problème paradoxal: alors que la principale raison d'être d'un atterrissage d'urgence moteur coupé est de sauver des vies, au prix de la destruction de la machine s'il le faut, les exercices d'atterrissage forcé doivent être suffisamment bien exécutés pour ne pas endommager l'appareil.

VITESSES MAXIMALES

On sait très bien que si un pilote d'avion essaie de voler trop lentement, il risque de décrocher. L'écoulement de l'air sur l'extrados de l'aile peut être soudainement perturbé et il en résulte une force dirigée vers le bas au lieu d'une force portante. Il s'ensuit une rapide perte d'altitude et, si l'avion est près du sol, l'accident se produit. Il est également possible qu'un hélicoptère se retrouve en condition de décrochage mais, contrairement à l'avion, c'est par excès de vitesse.

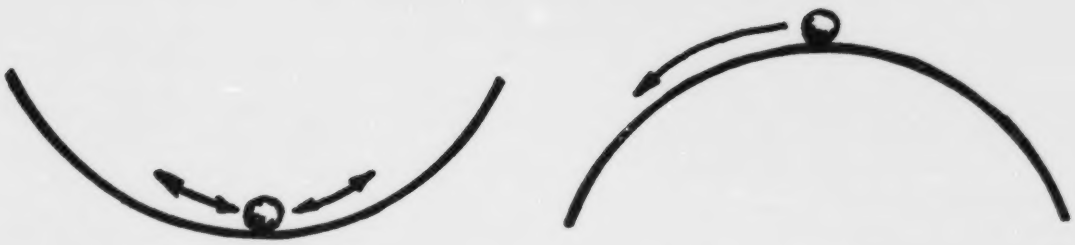
À grande vitesse, la vitesse des filets d'air qui s'écoulent sur le disque du rotor peut être dangereusement proche de celle de la vitesse circonférentielle de la pale reculante. Cette pale bat justement vers le bas pour compenser la diminution apparente de vitesse de l'écoulement d'air et, de ce fait, elle peut décrocher. Les pilotes et les livres qu'on a écrits sur les conséquences possibles de cette situation ne sont pas unanimes. Bien que tous s'accordent sur le phénomène de cabrage, leurs opinions divergent quant au sens du roulis, à gauche ou à droite, qui s'ensuit. En vérité, il est probable que l'hélicoptère s'incline d'un côté ou de l'autre.

Cependant, pour qu'il y ait décrochage de la pale reculante, il faut dépasser la vitesse maximale limite définie par le constructeur et ne pas tenir compte des fortes vibrations qui annoncent le décrochage.

Bien que, dans ces conditions, l'extrémité de la pale reculante ait une faible vitesse, la pale avançante approche de la vitesse du son, autrement appelée "le mur du son". La pression de l'air à l'avant de la pale augmente, provoque un tremblement et, finalement, un phénomène de compressibilité. Pour ces raisons, et d'autres qui leur sont liées, la vitesse maximale des hélicoptères classiques est inférieure à 200 mi/h et il est fort probable qu'elle restera à ce niveau, du moins dans un avenir prévisible.

STABILITÉ

Il faut considérer deux sortes de stabilité: la stabilité statique et la stabilité dynamique. On parle de stabilité statique dans le cas d'un objet qui revient à sa position initiale après en avoir été écarté. Pour démontrer la stabilité statique, prenons l'exemple courant du pois reposant au fond d'un bol arrondi. Si l'on déplace le bol, le pois s'écarte de sa position initiale mais il y revient lorsqu'on fait cesser le mouvement. Par contre, si l'on place le pois sur le sommet du bol retourné, et qu'on le déplace ensuite, il ne revient pas à sa position originale et l'on peut alors considérer qu'il est statiquement instable.



Stabilité statique Instabilité statique

Fig. 3-10

On parle de stabilité dynamique des objets statiquement stables à l'origine pour décrire leur comportement lorsqu'ils reviennent à leur position de référence. On considère qu'un objet statiquement instable ne peut avoir aucune stabilité dynamique. Si les oscillations d'un objet revenant à sa position initiale diminuent progressivement, on dit que cet objet est dynamiquement stable. Si, par contre, les oscillations augmentent, il est dynamiquement instable.

Instabilité dynamique Stabilité dynamique

Fig. 3-11

Il faut considérer la stabilité de l'hélicoptère autour de ses trois axes (roulis, tangage et lacet) et au moins au cours de deux phases du vol: en stationnaire et en translation avant. En stationnaire par vent nul, l'hélicoptère a tendance à être statiquement instable. En translation avant, il est dynamiquement stable en lacet, dynamiquement instable en tangage et statiquement instable en roulis. Le tout, compte tenu de la sensibilité des commandes, donne une machine qui serait probablement tout à fait inacceptable pour toute autre application mécanique. Certains constructeurs ont essayé d'aider les pilotes en équipant l'hélicoptère de systèmes d'augmentation de stabilité (SAS). Bell a parfaitement réussi avec sa barre stabilisatrice qu'il a

introduit vers les années 50. Il s'agissait d'une barre, équipée de masselottes à chaque extrémité, qui tournait en même temps que les pales du rotor principal et qui agissait comme un gyroscope. Grâce à sa propriété de fixité dans l'espace, elle amortissait les mouvements irréguliers du disque rotor provoqués par la turbulence et les rafales, et conférait à cet appareil une plus grande maniabilité que n'avaient à la même époque les autres types d'hélicoptères.

Les systèmes de stabilisation plus récents sont électroniques et peuvent être couplés au pilote automatique pour permettre au pilote de ne pas avoir à toucher aux commandes en vol de croisière. Les systèmes de ce genre sont très complexes et très coûteux, mais ils sont d'un intérêt primordial quand il faut voler aux instruments pendant longtemps.

Sur l'hélicoptère, la possibilité de voler dans les nuages est en outre limitée par le manque d'instruments appropriés et par le givrage. Tous les instruments et les aides à la radionavigation utilisés à bord des hélicoptères ont été conçus essentiellement pour l'avion et, de ce fait, bien que l'hélicoptère puisse bien s'acquitter de ses missions, il faut par exemple maintenir une vitesse de translation positive pour que les instruments donnent des informations fiables et utiles au pilote. De ce fait, on perd une partie de la souplesse d'utilisation propre à l'hélicoptère.

Jusqu'à présent, le givrage de la cellule a constitué un obstacle insurmontable pour le vol dans les nuages. Le givrage est provoqué par la surfusion des gouttelettes d'eau qui peut se produire dans de nombreux types de nuages et pour toute une gamme de températures. Il peut également survenir en dessous de la base des nuages et se présenter sous la forme de pluie verglaçante.

Le givrage peut non seulement augmenter le poids de l'appareil, mais aussi geler les triangleries de commande, la tête du rotor et toutes les autres parties mobiles. Il ne faut que très peu de glace sur les pales du rotor pour que l'on perde toute qualité autorotative. Autrement dit, si dans ce cas le moteur tombait en panne, l'hélicoptère dégringolerait littéralement du haut des cieux. Souvent, la force centrifuge permet par décollement d'éviter une importante accumulation de glace sur les pales mais ce décollement peut être lui-même dangereux. Le décollement de fragments de glace de grosseurs inégales peut poser de graves difficultés de pilotage et, à tout le moins, les importantes vibrations auxquelles le pilote risque d'être soumis peuvent l'inquiéter. De plus, les plaques de glace qui passent dans l'ensemble rotor peuvent être dangereuses pour le personnel au sol.

Nous venons donc de donner un bref aperçu du genre de difficultés que pose l'hélicoptère. Malgré tous nos efforts pour éviter l'emploi d'un jargon ésotérique, et précisément parce que le recours à celui-ci est dans une certaine mesure inévitable, nous pensons être utile au lecteur en lui donnant les quelques définitions que voici:

a) <u>Transition</u> - À strictement parler, il s'agit d'un quelconque changement de direction ou de vitesse. En ce qui concerne le pilotage de l'hélicoptère, on désigne ainsi le passage du stationnaire au vol en translation et vice versa.

b) Translation - Déplacement horizontal de l'hélicoptère qui, bien que s'effectuant le plus souvent vers l'avant, peut également avoir lieu de côté ou vers l'arrière.

c) Autorotation - On laisse presque toujours le moteur en marche au cours d'un exercice d'autorotation. Cependant, grâce à la roue libre qui équipe la boîte de transmission principale de l'hélicoptère, il est possible de ne resynchroniser les rotors et le moteur qu'au cours de la descente et de repasser en vol propulsé, de façon à simuler vraiment la mise en autorotation. Ainsi, dans le cas d'une autorotation complète, l'exercice ne se termine qu'une fois les patins au sol.

d) Simulacre d'atterrissage forcé - Il s'agit d'un atterrissage inopiné effectué par suite d'un simulacre de situation d'urgence.

Les lecteurs dont la curiosité aura été piquée au vif par ces quelques pages sur le vol des appareils à voilure tournante, pourront consulter les nombreux ouvrages qui expliquent, avec force détails, tout ce que nous avons volontairement omis ici. Parmi ces livres, nous pouvons conseiller "The helicopter and how it flies" de John Fay, et "The Dynamics of Helicopter Flight", du regretté George H.

CHAPITRE IV

L'HOMME

L'étude de la relation entre l'homme et la machine nous conduit à en apprendre davantage sur l'homme lui-même. Dans aucun autre domaine cette relation n'est aussi importante qu'en aviation.

Dans le premier chapitre, nous avons vu que le succès d'un vol dépendait de trois éléments: l'homme, la machine et le milieu. À eux trois, ces éléments forment ce que nous avons appelé l'aérosystème. Afin de comprendre le fonctionnement de l'un, il faut comprendre les trois. À présent que nous avons quelques notions du fonctionnement de la machine (et que nous connaissons certains de ceux qui l'ont créée), penchons-nous d'un peu plus près sur l'élément humain.

Dans l'ensemble homme-machine, l'exécutant humain intervient en tant qu'agent de traitement de l'information. Cette dernière lui est présentée par les instruments ou par d'autres moyens auditifs, visuels ou tactiles; une fois qu'il a pris ses décisions à partir de ces informations, l'homme intervient en manipulant des commandes ou en effectuant tout geste approprié. Le degré d'intervention de l'homme dans le système dépend, entre autres, de la complexité de la tâche à accomplir. Bien que les machines permettent parfois d'obtenir de meilleurs résultats que l'homme, celui-ci présente un avantage incontestable sur celles-là car il peut prendre des décisions en fondant son jugement sur les insuffisances de la machine. Par exemple, une calculatrice ne pourrait pas aboutir à une conclusion sans avoir été chargée de toutes les informations nécessaires et sans qu'on lui ait donné l'exacte méthode à suivre pour parvenir à cette conclusion. L'homme n'a pas été conçu pour être un simple passager! Il faut lui donner les moyens d'intervenir pour garantir un succès certain à l'aérosystème.

En pilotage, l'homme doit remplir quatre fonctions importantes:

1. Définir la destination de l'appareil.

2. Identifier et établir la position de l'appareil par rapport à sa destination.

3. Choisir une trajectoire conduisant à destination en tenant compte des contraintes inhérentes à l'appareil.

4. Choisir et utiliser des moyens de détection et de pilotage pour assurer les fonctions dont il est question ci-dessus et arriver à destination.

En outre, cinq facultés éduquées se rapportent aux fonctions de pilotage:

1. Faculté cognitive - Aptitude à comprendre la nature et la fonction de la tâche à accomplir et de l'équipement utilisé pour ce faire.

2. Faculté de perception - Aptitude à identifier l'information utile et à traiter des données provenant de plusieurs sources.

3. Coordination - Aptitude à intégrer les réactions dans le temps et à les coordonner.

4. Mémoire - Aptitude à retenir l'information portant sur les paramètres de vol, les procédures, les tâches à accomplir et autres.

5. Aptitude à exercer les facultés ci-dessus en étant soumis au stress, dû, par exemple, à la vitesse et au danger.

Il ne faut pas non plus ignorer certaines aptitudes aux relations humaines nécessaires à la cohésion d'un équipage.

Il est donc évident que pour pouvoir atteindre les objectifs fixés et pour exercer ces facultés, plusieurs conditions relatives au traitement de l'information doivent être remplies:

1. l'information doit être présentée de façon à être reçue sans ambiguïté;

2. l'homme doit être à même de recevoir cette information, c'est-à-dire que ses "récepteurs" doivent fonctionner correctement;

3. l'homme doit être capable d'établir des priorités entre les diverses informations reçues;

4. l'homme doit être capable de prendre une décision rationnelle et pertinente en se basant sur des informations choisies;

5. enfin, il doit être capable d'agir selon la décision prise, de façon coordonnée et appropriée.

Bien que ce processus soit complexe, il est possible de le comprendre en examinant les diverses étapes qui constituent le traitement de l'information. Un des modèles de traitement de l'information pouvant permettre de comprendre ce processus complexe est celui de Broadbent, dont la représentation synoptique ressemble à un schéma de montage en avionique:

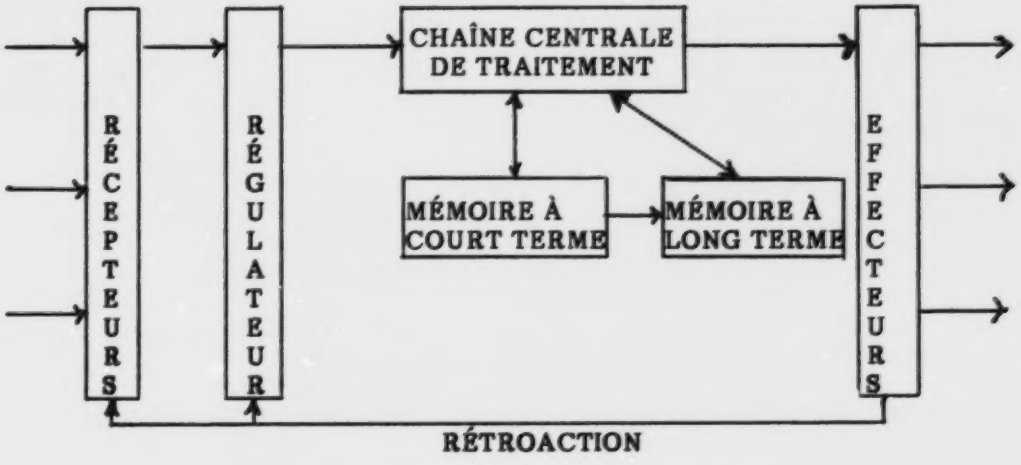


Fig. 4-1

RÉCEPTEURS

Les récepteurs d'information, ou mécanismes de perception, comprennent divers sens, dont deux des plus utilisés en aéronautique sont la vue et l'ouïe, à condition que l'homme dispose des références nécessaires. Même si, dans une grande mesure, un pilote compte sur sa vue, l'information qu'elle peut lui donner en aviation est souvent insuffisante, voire trompeuse.

L'oeil peut percevoir une bande très étroite du rayonnement lumineux, ce que l'on appelle la "lumière". D'autres êtres vivants peuvent percevoir une bande beaucoup plus large, par exemple, les rayons ultraviolets chez certains insectes, et les ondes électromagnétiques chez certains oiseaux migrateurs.

La plupart des pilotes qui croient avoir un "oeil de lynx" devraient se détromper. Le champ de vision aiguë d'un pilote est très petit: il correspond approximativement à la dimension d'une pièce de 25 sous placée à quatre pieds, à cause de la fovéa relativement petite de l'oeil humain. À cinq degrés à peine de l'axe fovéal, l'acuité visuelle se réduit à environ un quart de la vision centrale et à vingt degrés elle n'est pas sensible à la couleur, agit en réalité comme un écran radar. Par contraste de mouvement ou de brillance, elle indique la présence d'un objet et la fovéa s'oriente alors vers celui-ci pour l'identifier.

On a fait plusieurs études pour démontrer l'existence de ce problème en aéronautique, par exemple, aux États-Unis, l'étude "see and be seen" (voir et être vu). Cette étude a permis d'établir que, dans des conditions visuelles idéales, un pilote ayant une bonne vue serait capable de repérer un autre appareil à sept milles de distance. Si l'appareil était à 45 degrés par rapport à la direction du regard, la distance serait réduite à 2 milles et demi et, à 60 degrés, elle ne serait que de un demi-mille, ce qui est beaucoup trop peu pour les vitesses de rapprochement actuelles. Le fait que deux véhicules qui suivent des routes convergentes n'aient pas de mouvement relatif apparent vient compliquer la chose.

Quand le ciel est d'un bleu limpide, un champ visuel vide peut être la cause d'une myopie spatiale. À moins que l'oeil n'ait un point à fixer, il y a apparition d'un cycle aléatoire d'accommodation entre le point visible le plus proche et l'infini. Tous les pilotes se rappellent avoir, scrutant l'horizon par beau temps, été intrigué par un objet qui s'est soudain révélé n'être rien d'autre qu'une tache ou une rayure sur le pare-brise.

C'est pour toutes ces raisons que l'on enseigne les techniques de balayage visuel aux aviateurs, ou du moins qu'on le devrait. Un pilote doit apprendre à explorer son champ de vision et à maintenir sa mise au point oculaire sur l'infini tout en fixant occasionnellement un nuage éloigné ou un objet au sol.

Riordan et d'autres chercheurs ont établi que les liaisons neurologiques de la vision périphérique étaient différentes de celles de la vision centrale. Les repères d'orientation sont plus importants pour la vision périphérique que pour la vision centrale, ce que l'on peut d'ailleurs facilement démontrer en se livrant à l'expérience dont il est question ci-après.

Tout d'abord levez-vous! (Vos facultés de pilotage d'après les impressions sensorielles sont probablement engourdies de toute façon). Après vous être caché un oeil d'une main, fermez le poing de l'autre et placez-le devant l'autre oeil de façon à occulter votre vision centrale mais à conserver un cercle de vision périphérique. À présent levez un pied ... Facile n'est-ce pas? Répétez le même exercice mais au lieu de placer un poing devant l'oeil ouvert faites un cercle, de la dimension d'un trou d'épingle, avec le pouce et l'index, de manière à ne conserver que la vision centrale et à supprimer la vision périphérique. Il devient alors plus difficile de rester debout sur un seul pied.

Sur un plan ergonomique, qu'avons-nous réalisé pour le vol aux instruments? Nous avons conçu un petit horizon artificiel qui ne fait appel qu'à la vision centrale, la plus faible en fait d'orientation! Toutefois, la société canadienne Malcolm a conçu un horizon artificiel qui consiste en une barre de lumière projetée sur le tableau de bord, ce qui est une solution apparemment logique.

Mais qu'en est-il des autres créatures avec lesquelles nous partageons le ciel? Les oiseaux ont non seulement les yeux placés latéralement, ce qui leur confère un champ de vision beaucoup plus grand, mais ils présentent aussi certaines différences importantes de structure oculaire. Chez l'homme par exemple, l'accommodation est contrôlée par un muscle qui réagit plutôt lentement, alors que l'oeil d'un oiseau est commandé par un muscle strié qui réagit très rapidement.

La dimension de la fovéa est certainement le facteur le plus important. Les oiseaux de proie ont une fovéa très large qui leur permet, à haut altitude, de repérer de petits animaux. Les oiseaux marins ont aussi une grande fovéa qui leur confère une vue perçante sur tout l'horizon.

Il est donc évident qu'à beaucoup d'égards nous ne sommes peut-être pas suffisamment équipés pour fonctionner aussi bien que les oiseaux. Même notre vue, notre sens le plus important, est insuffisante comparée à celle de l'oiseau et nous pouvons donc conclure que la qualité de l'information perçue est, au mieux, marginale.

RÉGULATEUR

À chaque instant, nous sommes bombardés par ce qui pourrait être une écrasante quantité d'informations sensorielles. Alors que vous lisez ce texte vous percevez d'autres informations du fait de votre vision périphérique (la concentration a tendance à les supprimer) et vous entendez aussi plusieurs bruits, comme le bourdonnement d'un ventilateur ou d'une voiture. Vous percevez peut-être même une désagréable sensation venant de votre gros orteil gauche.

Cependant, la quantité d'informations que l'homme peut traiter est limitée et il faut donc filtrer l'information voulue ou nécessaire. C'est en fait la fonction du système régulateur qui est programmé par apprentissage, par expérience et, peut-être - dans une certaine mesure - par hérédité, pour rejeter les informations indésirables. Chaque fois qu'il vole, un pilote en fait la démonstration. Un de ses premiers réflexes consiste à programmer son régulateur avec les lettres d'immatriculation par lesquelles le contrôle de la circulation aérienne s'adresse à d'autres appareils, mais si un contrôleur appelle son immatriculation, il répond comme par magie: son régulateur a

analysé les données captées par ses sens et l'a alerté, l'avisant qu'il s'agissait d'une information prioritaire. Une partie du processus d'apprentissage de l'exécution d'une tâche aussi complexe que le pilotage consiste à programmer le régulateur de manière qu'il contienne les informations prioritaires.

Une fois que l'information a été choisie, elle est transmise à l'unité centrale de traitement.

L'UNITÉ CENTRALE DE TRAITEMENT

L'information qui parvient à l'unité centrale de traitement est celle dont il faut se souvenir ou celle pour laquelle il faut changer de comportement, par exemple, effectuer une manoeuvre d'évitement.

Une des limites de l'aptitude humaine à traiter des informations résulte du fait que les décisions ne peuvent être prises que sur un seul point d'information à la fois: c'est un système à un seul canal. C'est pourquoi la vitesse de traitement de l'information est importante.

On peut cependant faire remarquer qu'il est possible d'accomplir plus d'une action à la fois: conduire une voiture et prendre part à une conversation. Dans ce cas, l'attention passe rapidement d'une fonction à l'autre; d'ailleurs lorsqu'on apprend à conduire une voiture, on établit tout un nouvel ensemble de priorités: on programme le régulateur de manière qu'il reste branché sur l'extérieur, comme lorsqu'on tourne machinalement à droite à une intersection pour rentrer chez soi.

L'apprentissage d'une fonction complexe comporte trois phases:

1. la phase cognitive

2. la phase d'assimilation

3. la phase d'autonomie

Une personne est en phase cognitive lorsqu'elle apprend que pour réaliser un certain objectif, par exemple pour tourner à gauche, elle doit accomplir une action particulière (dans le cas qui nous intéresse, tourner le volant à gauche) ou, inversement qu'une certaine action débouche sur un résultat particulier ou sur une suite d'événements.

Au cours de la phase d'assimilation, la personne met en pratique ce qu'elle a appris ou observé jusqu'à ce qu'elle sache automatiquement quand tourner le volant, dans quel sens et avec quelle ampleur; elle sera alors en phase d'autonomie. Puis, le sujet passe à une gamme différente de priorités étant donné que sa capacité à traiter l'information a graduellement augmenté et que l'attention nécessaire à l'exécution d'une tâche donnée a été réduite. Ce processus est continu au cours de l'apprentissage. Lorsqu'une personne apprend à piloter un avion, son attention est tellement concentrée sur la quantité d'informations qu'elle doit traiter qu'il lui est difficile d'entendre les instructions; en fait le poste de pilotage est une des plus mauvaises salle de classe!

Ce processus n'est pas purement psychologique, il a également une base électrophysiologique. Ainsi, les premières études conduites sur des rats ont montré qu'il se produisait dans leurs cerveaux, des modifications enregistrées à l'EEG (électroencéphalogramme), quand survenaient des changements dans les priorités accordées aux informations. Des électrodes ont été branchées sur le cerveau d'un rat et on lui a fait entendre une série de déclics alors qu'il était dans sa cage. À chaque déclic correspondait une pointe à l'EEG, une impulsion électrique. Cependant, lorsqu'on a placé une rate en chaleur à proximité, on a constaté la disparition des impulsions électriques, ce qui indiquait manifestement un changement des circuits de priorité.

MÉMOIRE

Étant donné que, pour une tâche complexe, beaucoup de réactions sont liées à l'expérience et à la mémoire, il s'ensuit que celle-ci occupe une place importante. On distingue deux genres de mémoire: la mémoire à court terme (MCT) et la mémoire à long terme (MLT).

1. Mémoire à court terme (MCT)

La MCT est une mémoire électrochimique à capacité limitée. Les événements n'y sont stockés que pour de courtes durées (moins de 20 secondes) et seuls environ sept éléments différents à la fois peuvent être conservés dans la MCT.

2. Mémoire à long terme (MLT)

On pense qu'il s'agit d'une mémoire anatomique, autrement dit d'une mémoire dépendant des connexions synaptiques entre les neurones. Le nombre de neurones dans le cerveau n'augmente pas, ce sont les interconnexions qui peuvent changer. Certains chercheurs prétendent qu'ils ont noté une augmentation de la masse cérébrale après une période d'apprentissage, probablement à cause des modifications de la capacité de la MLT (32).

La capacité de la MLT est tout à fait remarquable. Toutes les informations comme les noms, les formes, les symboles, la musique et autres y sont emmagasinées. On a prouvé, grâce à l'hypnose, que même les informations reçues avant la naissance peuvent être stockées dans la MLT. Bien que le contenu de cette mémoire résiste aux atteintes du temps, son accès peut dans certaines circonstances être difficile ou modifié par des facteurs comme l'émotion, l'apparition de mécanismes de défense ou le stress. La MLT résiste mieux au déclin psychobiologique (sénilité) que la MCT, comme le prouvent des personnes âgées qui peuvent fort bien ne pas se rappeler un événement remontant à quelques secondes mais se souviennent, par exemple, des détails de leur enfance.

Les informations de nature très prioritaire peuvent être directement chargées dans la mémoire à long terme.

EFFECTEURS

Une fois la décision prise, on peut ou non passer à l'action. Cette action peut prendre la forme d'un échange verbal ou d'une manipulation de commande quelconque, ce qui entraîne une modification de l'aérosystème.

Il peut se produire une rétroaction vers d'autres éléments de l'ensemble de traitement de l'information et, comme nous le verrons plus tard, l'unité centrale de traitement peut être court-circuitée.

On peut voir à présent comment ce nouvel élément s'intègre dans l'ensemble homme-machine et complète l'interface entre l'affichage de l'information et l'action aux commandes.

Cependant, ce nouvel élément comporte plusieurs faiblesses fondamentales, en plus de sa dégradation par le stress:

1. La qualité de l'information peut ne pas être suffisante pour répondre à tous les critères nécessaires au bon fonctionnement de l'aérosystème. Nous avons déjà analysé la manière dont la vision illustrait cette particularité.

2. Il s'agit d'un système à un seul canal dont la capacité de traitement de l'information est limitée.

3. Il y a un délai entre la perception de l'information et la réaction au stimulus. Dans le cas d'un sujet jeune et en bonne santé, ce retard peut aller jusqu'à 3 ou 4 secondes, et encore si l'on ne considère que les retards dus à la conformation physique. Par exemple, il faut un certain temps pour qu'une impulsion nerveuse, ayant pris naissance dans la rétine, voyage le long des liaisons optiques jusqu'au cortex oculaire qui, malheureusement, est situé dans les lobes occipitaux du cerveau, c'est-à-dire à une distance à peu près maximale par rapport à la rétine.

   Dans le cas d'une personne entraînée à réagir par réflexes, le retard peut être réduit jusqu'à moins d'une seconde, à condition qu'elle s'attende au stimulus. C'est ce principe qui est à la base des simulateurs de vol ou de procédures qui ramènent des tâches complexes à des réactions réflexes. La formation sur simulateur permet également de libérer certaines capacités mentales pour le traitement d'autres informations. On parle alors de dissociation de l'attention grâce à une certaine "capacité mentale de réserve".

4. L'attente mentale peut modifier ce que nous percevons. Le panneau suivant en est un bon exemple:

Fig. 4-2

En lisant ce panneau la première fois, la plupart n'auront pas remarqué le second "LA". Si l'on s'en tient aux lois physiques, la rétine a perçu les deux "LA", mais il y en a un qui a été éliminé en cours de traitement dans le système.

Établissons là le rapprochement avec un cas malheureusement trop fréquent en aéronautique, celui du pilote de bimoteur léger qui, fatigué, oublie de sortir son train d'atterrissage même si l'ATC le lui a rappelé. Il regarde les voyants avertisseurs et voit les "trois vertes" même si les voyants sont rouges et il jurerait sur une pile de bibles aussi haute que lui qu'ils étaient effectivement verts. Qui plus est, le détecteur de mensonge lui donnera raison et ce malgré les examens en laboratoire prouvant que les filaments des voyants rouges brûlaient à l'atterrissage.

La langue est un autre domaine où le phénomène de l'attente a des répercussions constantes. Lorsqu'on écoute quelqu'un parler il ne faut pas 3 ou 4 secondes pour comprendre ce qu'il dit, principalement parce qu'on s'attend constamment à ce qui va être dit l'instant d'après. Cette tendance peut parfois pousser l'auditeur à échafauder de fausses hypothèses, surtout lorsque la perception du stimulus est marginale, comme dans un milieu bruyant ou quand on utilise une seconde langue (30). Le tout peut conduire à une mauvaise interprétation verbale dans le poste de pilotage ou lors des échanges avec le contrôle de la circulation aérienne.

5. La capacité d'attention de l'homme est limitée. En descendant de son arbre, le premier homme s'est retrouvé dans un milieu hostile et constamment menacé par les autres animaux. Ainsi, seuls ceux qui ont su parfaitement observer le milieu dans lequel ils évoluaient ont pu survivre et la sélection naturelle a donné naissance à un système nerveux qui analyse constamment le milieu et n'accuse qu'un bref retard quand il s'agit d'un cas particulier.

   Malheureusement, la machine exige une attention continuelle et nous sommes inaptes à satisfaire ce genre de besoin. En fait, nous avons fait un pas au-delà des systèmes automatisés en assignant la tâche principale à la machine et en reléguant l'homme à une fonction de surveillance, une de celles qu'il accomplit le plus mal. Jadis commandant du navire, seul maître après Dieu, le pilote doit maintenant surveiller la machine pour s'assurer qu'elle continue à fonctionner, ce qui est généralement le cas. En cas de panne, cet individu démotivé, qui s'ennuie, peut ne pas être capable d'assimiler toutes les informations dans le laps de temps qui lui est imparti pour prendre la situation en main et se sortir d'une impasse.

   L'idéal serait de faire piloter l'homme au cours de certaines phases critiques du vol, comme pendant l'approche et l'atterrissage, tandis que la machine le surveillerait et l'avertirait s'il ne respectait pas certains paramètres. Dans ces conditions, sa vigilance serait maintenue à un niveau optimal et il resterait motivé.

PARTAGE DE L'ACTIVITÉ MENTALE

De ce que nous venons de voir, il ressort nettement qu'il ne suffit pas de choisir l'information appropriée mais qu'il faut aussi, pour remplir la fonction exigée, la traiter à une vitesse donnée. Cette vitesse dépend de la tâche à accomplir. Étant

donné que le cerveau fonctionne comme une unité de traitement à un seul canal, il ne peut être "dédié" à un seul des éléments de la tâche à accomplir.

À cet égard, le cerveau s'apparente vraiment à un ordinateur. Un ordinateur peut comporter de nombreux terminaux et opérateurs pouvant accéder à l'unité centrale. Il peut sembler à chaque opérateur que l'ordinateur lui est "dédié" à cent pour cent, alors qu'en fait l'unité centrale saute d'un terminal à l'autre en conservant la possibilité d'être consultée par tous les opérateurs selon un ordre préétabli. Les psychologues, en considérant cette faculté du cerveau, l'ont baptisée "partage de l'activité mentale" ou "fonctionnement de l'activité mentale en temps partagé".

Naturellement, la vitesse à laquelle le cerveau peut traiter simultanément plusieurs informations est limitée. Pour un sujet d'une vingtaine d'années, en bonne santé, la moyenne approximative de traitement est de 13,6 éléments par seconde et il se produit aux environs de 45 ans un déclin qui la ramène à 10 éléments par seconde (31). La vitesse de traitement de l'information, ainsi que le filtrage, risquent de se dégrader à cause de contingences comme l'hypoxie, l'alcoolisme, la fatigue ou des attaques toxicologiques provoquées, par exemple, par des insecticides organophosphatiques et carbamatiques.

APTITUDE - DEMANDE

Toute fonction exige un certain niveau de rendement. Toute impossibilité à répondre à cette demande débouche sur l'échec de la fonction et, dans le cas du pilotage, sur une catastrophe possible. Un chimpanzé pourrait probablement apprendre à manier les commandes d'un appareil mais il serait incapable de devenir pilote, car il ne possède pas cette aptitude à faire face à l'inattendu qui constitue l'une des principales particularités de la fonction du pilote. Un des buts de la formation consiste à surentraîner le pilote jusqu'à rendre la plupart des tâches routinières, lui ménageant une grande réserve mentale pour qu'il puisse s'acquitter d'autres fonctions. La formation l'amène donc à un niveau de rendement qui est supérieur au niveau exigé.

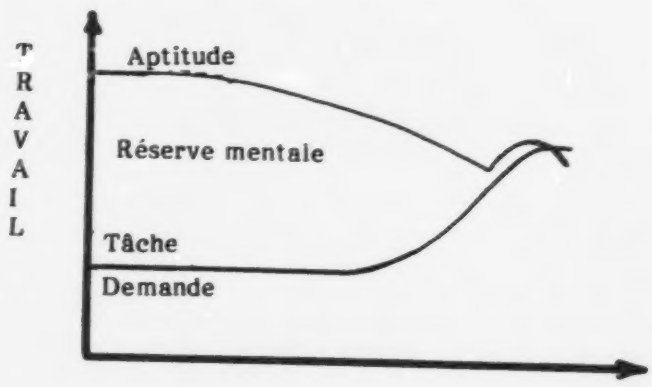


Fig. 4-3

Bien sûr, chaque personne est limitée par ses capacités biologiques propres et l'un des objectifs de la sélection consiste à choisir ceux qui sont capables de développer une grande réserve mentale. Par contre, certaines tâches demandent des niveaux de rendement tellement élevés qu'il s'ensuit une réduction de la réserve mentale. Comme nous le verrons plus tard, le pilote d'hélicoptère doit faire face à des demandes d'un niveau très élevé, particulièrement le pilote d'hélicoptère à pistons qui doit commander manuellement le régime du moteur.

Nous l'avons déjà vu, la vitesse de traitement de l'information est un des principaux éléments de l'aérosystème; elle est extrêmement sensible au stress et à la fatigue et, au cours d'un vol elle peut diminuer de façon insidieuse, à cause du bruit, des vibrations, de la faim, de la fatigue, de l'ennui ou de toute autre contingence. Malheureusement, sur appareil à voilure fixe en particulier, les tâches les plus exigeantes se produisent à la fin d'un vol, lorsque le rendement a atteint son niveau le plus bas. Au moment de l'approche la réserve mentale est souvent très réduite, ce qui peut être compensé dans une certaine mesure par le stress d'anticipation (stimulation).

La courbe de Jerkes-Dobson illustre la relation entre la stimulation et la réalisation. On peut constater qu'avec une augmentation de la stimulation, il y a amélioration du rendement mais jusqu'à un certain point seulement. Lorsque la stimulation est excessive le rendement commence à faiblir et peut tomber à des niveaux qui affectent sérieusement les ressources du sujet.

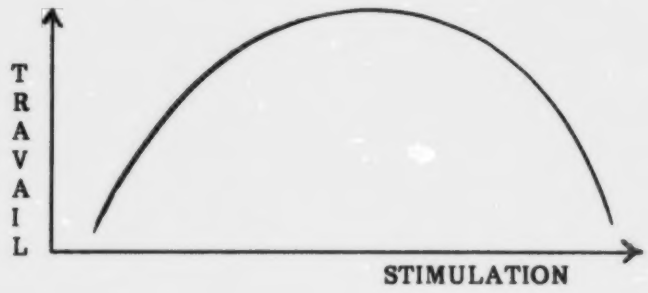


Fig. 4-4

Nicholson (G.-B.) (33) a constaté que le rythme cardiaque d'un pilote atteignait un maximum juste après le poser. Les percées effectuées lorsque les communications sont mauvaises et qu'il manque d'aides à la radionavigation suscitent souvent une forte accélération du rythme cardiaque et un frémissement sensible des doigts, surtout si les conditions météorologiques sont défavorables. "Des circonstances défavorables conduisent à une augmentation considérable de la stimulation du système nerveux central, ce qui peut entraîner une situation où la qualité du pilotage est sérieusement altérée".

Malgré une certaine augmentation de l'intensité de stimulation (stress d'anticipation), on constate que l'on se retrouve dans une situation dans laquelle la réserve mentale a diminué et dans laquelle la présentation d'autres informations, ou l'addition d'une contrainte, peut conduire à une surcharge du système. Que devient donc la fonction mentale de l'exécutant humain dans ces circonstances?

Vinson et Grey-Walter ont mis au point des tests qui permettent de mesurer la réserve mentale (entre autres choses) par l'augmentation progressive de la sollicitation en "partage de l'activité mentale", et ce jusqu'à l'apparition d'un état de surcharge. Dongier, de l'Université McGill, a montré qu'il se produisait un engourdissement de certaines zones cervicales lorsque cet état était atteint (rappelons-nous ce pauvre rat mâle). Au moment où il y a surcharge, plusieurs choses peuvent se produire (35).

1. Omission: l'information n'est simplement pas traitée.

2. Erreur: l'information est mal traitée et les ajustements nécessaires ne sont pas effectués.

3. Temporisation: retard des réactions au cours d'une pointe dans la période de demande et rattrapage pendant les périodes d'accalmie. Dans ce cas, les réactions ne sont pas nécessairement classées par ordre de priorité mais plutôt par ordre d'arrivée.

4. Filtrage: omission systématique de certaines catégories d'information.

5. Recours aux canaux multiples: synchronisation des réactions à plus d'une tâche de telle sorte que des réactions semblables puissent se produire en même temps.

6. Approximation: production d'une réaction moins précise faute de temps pour la précision.

7. Manque d'attention: lorsqu'il y a augmentation du stress ou de la charge de travail, l'attention d'une personne est beaucoup plus concentrée. Par exemple, elle peut être tellement distraite par le voyant du détecteur magnétique qu'elle en oublie d'effectuer d'autres tâches essentielles comme l'évitement des obstacles.

8. Abandon: le pilote peut interrompre purement et simplement toute activité, ou tout laisser aller et regarder avec indifférence le sol monter vers lui.

9. Régression: l'être humain stressé a très souvent tendance à régresser vers un schème de comportement qu'il a acquis plus tôt. Je voudrais illustrer cet aspect particulier par une expérience personnelle.

   C'était au début de 1980, lors de ma transformation sur Bell 206B. Au cours du vol, nous avons ressenti un violent mouvement au manche qui nous a rendus, mon instructeur (Hugo Leech) et moi, quelque peu nerveux. Les pilotes d'hélicoptère sont très suspicieux envers la mécanique. Hugo a repris les commandes et m'a demandé de couper le circuit des servocommandes. En un éclair, ma main s'est posée sur l'interrupteur du circuit principal de carburant.

Si je l'avais actionné nous nous serions retrouvés dans les arbres. Alors, que m'avait-il pris?

Lorsque je suis revenu dans mon bureau, j'ai regardé le dessin d'un tableau de bord de OH-58-A, sur lequel j'avais reçu mon instruction de base sur hélicoptère à turbine. Et devinez où se trouve placé son interrupteur de circuit servocommande! Exactement au même endroit que le robinet principal du Bell 206. Même après huit ans sans piloter un OH-58-A, j'avais eu une réaction acquise à cette époque. Cet exemple illustre assurément la nécessité de normaliser la disposition d'un poste de pilotage et le fait qu'il est facile, pour un pilote, d'effectuer une action dont les conséquences peuvent être désastreuses.

Bien que les systèmes se raffinent, les accidents continuent à se produire à cause d'une surcharge d'informations, parce qu'on a, je crois, poussé l'homme au-delà de ses possibilités de traitement de celles-ci ou, dans le cas de l'automatisation, parce qu'on lui a retiré les éléments de motivation qui retiennent son intérêt, et donc son attention. À ma demande, le professeur John Clake, de Winnipeg, m'a précisé que pour conduire une voiture sur une distance de un mille on avait à traiter environ 12 000 informations. Autrement dit, à 60 mi/h, la vitesse de traitement doit passer à 200 informations par seconde, ce qui est humainement impossible. Cette hypothèse est évidemment corroborée par le fait que la diminution de la limite de vitesse permet de réduire le nombre d'accidents (ainsi que leur gravité).

Il est important de bien choisir les candidats au personnel navigant. Comme nous l'avons vu, la capacité de traitement d'information constitue une pierre d'achoppement. Si elle reste dans des limites tolérables, il faut alors analyser d'autres facteurs.

Dans ce chapitre, nous avons essayé de vous expliquer comment fonctionnait l'homme en tant qu'unité de traitement de l'information de l'ensemble homme-machine. Je pense avoir démontré combien cette aptitude était limitée et combien elle était liée à toute baisse de rendement. Penchons-nous à présent sur quelques-uns des facteurs auxquels le pilote est confronté et qui peuvent diminuer son rendement.

CHAPITRE V

ASPECTS PHYSIOLOGIQUES

Maintenant que nous savons ce qu'est l'hélicoptère et à quelles forces il est soumis en vol, nous pouvons nous pencher sur certains des problèmes physiologiques auxquels les pilotes peuvent avoir affaire. En général, on peut distinguer plusieurs contraintes environnementales, comme la stimulation lumineuse intermittente (SLI), le bruit, les vibrations et la contamination du poste de pilotage, ainsi que des contraintes opérationnelles comme les troubles de l'orientation en vol et les troubles visuels dont il est question au chapitre suivant.

Stimulation lumineuse intermittente

La stimulation lumineuse intermittente est un phénomène que l'on rencontre plus souvent sur hélicoptère que sur avion. Elle se produit quand la lumière provenant du soleil, ou d'une autre source, vient frapper sur les pales en rotation, mais elle peut également survenir de nuit, lorsque les feux de navigation se reflètent dans le disque du rotor. Cette stimulation lumineuse produit des effets allant de la gêne et la fatigue, cas le plus fréquent, à la perte de conscience et à des convulsions chez les sujets très sensibles. Si seules quelques études conduites en laboratoire ont permis de reproduire le vertige stroboscopique ou la perte de conscience (21) par suite de la SLI, on a pu, par contre, enregistrer plusieurs incidents dus à cette cause. Dans son article "What is Flicker Vertigo?" paru dans le U.S. Army Aviation Digest, Forbes (13) décrit neuf cas parfaitement documentés et, parfois, très connus, de phénomènes liés à la SLI. J'ai, personnellement, ressenti au moins une fois les effets de la SLI et j'ai été le témoin d'un des cas que je cite avec des détails.

Cas n° 1 - Alors que nous nous rendions en hélicoptère sur les lieux d'un accident, j'aidais le pilote en lisant la carte et en assurant la navigation. Comme nous volions avec le soleil dans le dos, l'ombre du rotor balayait la carte et, à cause de la SLI qui en résultait, j'ai éprouvé des troubles de la vue et une perte de fusion optique, donc de vision binoculaire. Il semblerait qu'une SLI d'une fréquence d'environ 8 Hz puisse altérer la coordination des muscles extrinsèques de l'oeil et se traduire par une perte de la vision binoculaire, ce que l'on peut facilement reproduire à l'aide d'un stroboscope lumineux. Quand nous avons modifié le cap, de telle sorte que l'ombre ne tombait plus sur la carte, le phénomène a disparu.

Cas n° 2 - Au cours d'un vol en formation, un pilote de 32 ans, totalisant environ 1600 heures de vol sur hélicoptère, a été victime d'une SLI venant de la face intérieure de son pare-soleil droit, SLI causée par la lumière qui traversait les amortisseurs de vibration (voir la figure 2-4). Le phénomène, aggravé par un pare-soleil poussiéreux, a provoqué chez ce pilote un certain trouble de l'orientation, un brouillage de la vision ainsi qu'une perte de fusion optique lorsqu'il regardait à droite. Là encore, le changement de direction a permis de faire disparaître immédiatement le phénomène.

Il est bien connu que la stimulation lumineuse intermittente modifie certains processus neurophysiologiques et des analyses quantitatives ont été effectuées à ce sujet. Il semble que les niveaux critiques se situent entre 3 et 30 clignotements par seconde (Hertz). Lorsque la SLI atteint 6 à 8 Hertz, elle provoque une diminution de la profondeur de champ (acuité visuelle stéréoscopique). Une fréquence de 9 à 15 Hz provoque des effets subjectifs alors qu'aux alentours de 25 Hz le sujet ne peut se concentrer et se fatigue.

Au cours de la Seconde Guerre mondiale, les Allemands réglaient les projecteurs de la Flack pour obtenir un clignotement d'une fréquence se situant entre 4 et 12 Hz afin de gêner les pilotes des bombardiers alliés. De nos jours, les discothèques ont recours aux "stroboscopes" pour provoquer chez les clients une certaine forme d'altération du sens de la valeur de l'argent.

Il faut mentionner ici que tous les types de phénomènes provoqués par la SLI sont amplifiés par l'alcool et certains médicaments. De plus, les personnes souffrant de maux de tête sont particulièrement susceptibles aux phénomènes de stroboscopie.

Bruit

Le bruit est un inconvénient à bord de tout appareil, mais plus encore en hélicoptère. Il y a trois raisons à cela:

Premièrement, le groupe motopropulseur doit être plus puissant, par rapport au poids de l'appareil, que sur aéronef à voilure fixe. À cause aussi de la conception de la machine, il n'est pas facile d'éloigner le moteur du pilote puisque, normalement, il doit être à proximité du centre de gravité.

Deuxièmement, il existe plus de mécanismes générateurs de bruit à bord des hélicoptères. En plus du moteur, on peut compter les transmissions principale (BTP) et arrière. Tous ces mécanismes engendrent des bruits dans une gamme de fréquence assez large.

Troisièmement, pour des raisons de confort ou pour répondre à des exigences opérationnelles, le vol sur hélicoptère s'effectue souvent avec les vitres ouvertes ou les portes enlevées. La présence de l'armement, sur des hélicoptères d'attaque, ajoute une source de bruit et, à bord de ces hélicoptères, les niveaux de pression sonore peuvent atteindre 140 décibels lorsqu'on déclenche le tir des armes à feu.

Le type de bruit et le spectre sonore du moteur varient selon qu'il s'agit d'un hélicoptère à turbine ou à pistons. Le bruit engendré par un moteur à pistons se situe dans les graves, à des niveaux de pression relativement élevés, 115 décibels par exemple, pour le Hiller CH112. Le bruit du moteur à pistons est provoqué par une série d'explosions, contrairement au bruit de la turbine, qui est plus régulier. Dans ce cas on retrouve des niveaux de pression élevés mais généralement de fréquences plus hautes.

Le bruit des transmissions se situe plutôt dans les basses fréquences et se caractérise par un roulement bruyant accompagné de sifflements. Un sujet ne portant pas de protège-oreilles peut éprouver une sensation d'assoupissement et, après le vol, des tintements dans l'oreille ou une perte temporaire de l'audition. Des expositions prolongées et répétitives peuvent causer des lésions neurosensorielles permanentes.

À bord d'un hélicoptère on compte évidemment d'autres générateurs de bruits comme le feu anticollision, les pompes de gavage, les gyroscopes, les radios, et bien d'autres encore. Tous les bruits provenant de ces diverses sources se combinent pour produire une cacophonie pouvant causer divers troubles physiologiques chez un sujet non protégé. Les niveaux de pression acoustique analysés sont élevés dans toute la gamme des fréquences, certains pouvant atteindre 114 décibels. La plupart dépassent 85 décibels, le niveau le plus élevé auquel il n'est pas encore nécessaire de porter des protège-oreilles. Il importe donc, pour ne pas subir de traumatismes auriculaires, que les équipages et le personnel au sol utilisent des moyens de protection.

Outre les traumatismes auriculaires dont il peut être responsable, le bruit peut avoir d'autres effets, à court et long termes. On sait que la cuisson dans les fours à micro-ondes est le résultat d'une augmentation de l'énergie cinétique de tissus par exposition à cette forme d'énergie acoustique. Les symptômes et les effets physiologiques suivent probablement le même processus et débouchent sur une irritation du cerveau qui provoque nombre de phénomènes connus. Les niveaux de pression sonore élevés, de l'ordre de 140 décibels, peuvent provoquer des nausées, des vertiges, un nystagmus, un manque de coordination et une perte de conscience. Des niveaux moins élevés peuvent se solder par une diminution des niveaux de conscience et d'attention, par la somnolence, la fatigue et de l'irritabilité (29). Les groupes rocks modernes choisissent des niveaux sonores élevés pour "chauffer" leur public. Certains adolescents affirment que, lorsqu'ils sont exposés au bruit que "crachent" les amplificateurs d'un groupe rock déchaîné, ils se sentent euphoriques. Par contre, beaucoup d'adultes deviennent irritables lorsqu'ils sont exposés aux mêmes bruits. Seuls les sourds ne sont pas affectés, mais ils peuvent malgré tout ressentir les vibrations.

Vibrations

La vibration est analogue au bruit, car celui-ci est essentiellement un phénomène de vibrations de basse amplitude et de haute fréquence. Guignard (29) a défini la vibration comme étant une "perturbation soutenue communiquée par l'entremise de la structure imprégnant un mouvement au corps et perçue par d'autres sens que l'ouïe (c'est-à-dire, la vue, le système vestibulaire ou le toucher)". En s'arrêtant quelque peu sur cette explication, on peut en déduire les implications.

Les fréquences et les amplitudes des vibrations sur hélicoptère sont diverses, mais elles sont principalement produites par l'arbre du moteur et les rotors, quoique les forces aérodynamiques puissent, elles aussi, produire des vibrations. Ces vibrations sont verticales, longitudinales et transversales. Les premiers types d'hélicoptères étaient très sujets aux vibrations, et même les derniers modèles ont encore un niveau de vibration assez élevé. Par exemple, le Bell 204 Huey présente un régime de vibration particulier avec pointe sonore régulière que l'on remarque surtout en croisière. Généralement, la fréquence des vibrations sur hélicoptères se situe entre 25 et 75 Hz, pour une amplitude d'environ 0,008 pouce, ce qui correspond à la zone de gêne physiologique. Dans certaines conditions, on trouve fréquemment à bord du Hiller Nomad, des vibrations de l'ordre de 6 Hz, 12 Hz et 108 Hz, ces dernières étant provoquées par le boîtier d'entraînement du rotor arrière.

Un sujet soumis à une contrainte vibratoire voit son rendement influencé par la différence des vibrations entre lui et la machine (15,25,29). Des vibrations continues de 20 Hz ne sont pas très dangereuses mais elles peuvent créer fatigue et inconfort alors que celles qui se situent entre 1 et 20 Hz peuvent donner lieu à des traumatismes physiologiques. Les vibrations ou les oscillations inférieures à 1 Hz provoquent généralement le mal de l'air. Il suffit de voler assez longtemps à bord d'un hélicoptère, disons 5 à 8 heures, pour ressentir la gêne que provoquent les vibrations, particulièrement au niveau du dos et des épaules.

La tolérance minimale aux vibrations se situe entre 6 et 8 Hz à cause de l'amplification par résonnance que ces vibrations suscitent sur certains organes. Le corps humain a une résonnance naturelle propre, située entre 4 et 8 Hz. Cette amplification peut provoquer dans la boîte crânienne des accélérations pouvant être trois fois supérieures à celles qui se produisent au niveau du siège. On voit facilement que des vibrations dans cette gamme peuvent avoir des effets néfastes et contribuer à des lésions permanentes de certains organes délicats situés dans la boîte crânienne.

L'acuité visuelle est affectée par des vibrations se produisant à des fréquences à peu près égales ou supérieures à 4 Hz et une perte de vision binoculaire se produit aux environs de 8 Hz, probablement à cause d'une interférence dans la transmission par les neurones vers les muscles extra-oculaires, ce phénomène se manifestant à une fréquence d'environ 8 Hz. L'amortissement par les tissus peut entraîner une différence de vibrations entre les instruments et la tête, diminuant ainsi la vue. Cet effet est plus particulièrement marqué avec un éclairage à la lumière rouge, probablement à cause de la "myopie à la lumière rouge". C'est pourquoi l'éclairage du tableau de bord d'un hélicoptère à la lumière rouge est probablement moins efficace que l'éclairage blanc. Des troubles de la parole peuvent également survenir chez un sujet soumis à des vibrations de l'ordre de 4 à 8 Hz, sans compter qu'il ne fait aucun doute que les sens tactiles et kinésiques (position des membres) sont affectés. Le fluide des canaux semi-circulaires provoquent une excitation du système vestibulaire lorsqu'on soumet un sujet à des vibrations inférieures à 1 Hz. Des vibrations de l'ordre de 3 à 12 Hz peuvent réduire le seuil de tolérance aux troubles de l'orientation.

Une exposition prolongée aux vibrations (29) peut entraîner une pathologie plus chronique. Les troubles peuvent être les suivants: ostéoarthrose, fibrose traumatique, hernies discales, coccygodynie et douleurs sacro-lombaires. De façon plus marquée, une exposition à des vibrations d'une fréquence supérieure au niveau de tolérance dans la gamme de résonnance sensible pour le corps humain peut provoquer des douleurs à l'abdomen, à la poitrine, aux testicules, couper le souffle, provoquer de l'anxiété, une incommodation générale, une envie pressante d'uriner ou de déféquer, et des contractions musculaires volontaires ou involontaires.

Les symptômes les plus courants semblent être la fatigue, la diminution du rendement et les rachialgies. Un des facteurs qui influence l'apparition des rachialgies est la posture en vol. Les pilotes ont tendance à s'asseoir penchés vers l'avant, le coude droit reposant sur le genou, la tête bien droite. Cela occasionne un effort de cisaillement au niveau des vertèbres lombaires, dorsales supérieures et cervicales inférieures. Souvent, les pilotes adoptent cette posture "demi-courbé" parce qu'il

n'est pas possible de régler correctement le siège ou que les postes de pilotage sont trop petits pour pouvoir y garder la tête droite. Rares sont les hélicoptères équipés de sièges réglables et, pour le dessin des sièges d'hélicoptères et l'emplacement des commandes, les ingénieurs et, constructeurs devraient porter plus d'attention aux critères anthropométriques. De plus, les bourrelets amortisseurs de vibrations s'imposent pour les sièges d'hélicoptères.

Contamination du poste de pilotage

La contamination du poste de pilotage est un problème que l'on rencontre presque uniquement sur hélicoptère, particulièrement au cours des manoeuvres en stationnaire puisque dans ce cas la machine "avale littéralement ses propres rebuts". Ainsi, le niveau normalement toléré de pollution par l'oxyde de carbone est de 100 parties par million, mais le niveau de tolérance diminue avec l'altitude. Lorsque le gouvernement des États-Unis s'est porté acquéreur d'hélicoptères H37, on a constaté que les niveaux d'oxyde de carbone variaient de 1000 à 2000 parties par million. Un examen attentif a permis d'établir que les gaz d'échappement étaient ravalés dans les conduites d'admission de l'air de chauffage de la cabine. Bien sûr, les constructeurs ont pris certaines mesures pour remédier à cet inconvénient, entre autres en modifiant l'emplacement des collecteurs d'échappement. Dans le cas du CH112 Hiller, la méthode d'utilisation normalisée consiste à couper le chauffage auxiliaire, sauf en translation ou en vol de croisière, afin de réduire la contamination du poste de pilotage. J'ai eu moi-même des nausées et un mal de tête pour avoir oublié de couper le chauffage au cours d'un exercice de vol en stationnaire.

À mon avis, on devrait placer un détecteur d'oxyde de carbone dans tous les postes de pilotage d'hélicoptères. De plus, des systèmes de circulation à air forcé plus efficaces devraient être installés. Il faut évidemment, faire attention à l'emplacement des conduites d'admission pour éviter l'ingestion des gaz de recirculation dans le poste de pilotage.

EFFETS PRONONCÉS DE L'OXYDE DE CARBONE
DURÉE DE L'EXPOSITION: 1 HEURE

Nombre de ppm dans l'atmosphère	%HbCO	
400	7,2	Aucun
800	14,4	Mal de tête, difficulté à respirer en cas d'efforts
1600	29	Confusion, collapsus en cas d'efforts
3200	58	Perte de conscience
4000	72	Coma profond
4500	81	Mort instantanée

Fig. 5-1

Contraintes thermiques

Les contraintes thermiques ne sont pas inhabituelles dans un poste de pilotage d'hélicoptère, surtout pour ceux qui ont une bulle de grande surface qui se comporte comme une véritable serre chaude. Le problème se pose plus particulièrement en hiver, lorsque le pilote porte des vêtements chauds. Quand la température se situe aux environs de 20 à 40°F, le poste de pilotage peut devenir très chaud en vol stationnaire si l'hélicoptère n'est pas équipé d'un système de ventilation à air forcé. Des études ont été effectuées sur le Kiowa pour mesurer le microclimat dans lequel vivaient le pilote, le copilote et les passagers. Ces études ont établi que ceux-ci étaient soumis à une importante contrainte thermique en saison chaude. Elles ont aussi permis de conclure que la ventilation de l'équipage et des passagers était à peine suffisante. Lorsque la température du thermomètre mouillé est élevée, aux environs de 85°F, il est recommandé, pour assurer un refroidissement suffisant, que la vitesse minimale de l'écoulement d'air de ventilation soit d'au moins 500 pieds par minute; cependant, on a découvert qu'au cours d'un vol stationnaire la vitesse de l'air sur le visage du pilote, ainsi que sur sa poitrine et sur ses jambes, était inférieure à 100 pieds par minute. La ventilation dans la zone des passagers était inférieure à 100 pieds par minute, même en vitesse de croisière avec toutes les oules ouvertes et le ventilateur du chauffage et le désembueur branchés (18). Il est évident que pour la sécurité de l'équipage et des passagers, il faut équiper les hélicoptères de systèmes de ventilation suffisants.

En hiver, à bord du CH112 Hiller par exemple, des panneaux spéciaux (caches) sont ajoutés autour du moteur afin que celui-ci conserve sa température de fonctionnement le plus longtemps possible. Ces panneaux nécessitent une visite pré-vol prolongée, si bien que le pilote est frigorifié lorsqu'il pénètre dans sa machine. Si, par la suite, il reste en vol stationnaire prolongé, surtout par une journée ensoleillée, il risque d'avoir trop chaud et de transpirer. Après son vol, lorsqu'il quitte l'appareil, il se refroidit de nouveau. Ce passage d'un milieu chaud à un milieu froid impose une contrainte importante au système homéostatique du corps et le pilote risque d'être plus vulnérable aux infections respiratoires entre autres.

Dangers pour le personnel au sol

Un des facteurs que l'on oublie souvent en ce qui concerne la mise en oeuvre des hélicoptères est le danger auquel est exposé le personnel au sol. Outre les niveaux sonores élevés des hélicoptères, le souffle du rotor peut avoir des effets néfastes (24). On a pu noter les caractéristiques générales suivantes au sujet du souffle d'un hélicoptère en vol stationnaire:

1. Le souffle du rotor ne donne pas lieu à d'importantes composantes verticales lorsque l'hélicoptère est en effet de sol, la résultante est plutôt horizontale sur tout le périmètre à hauteur d'homme.

2. L'importance du vent résultant est directement liée à la masse brute de l'appareil et, dans une certaine mesure, à la charge alaire du disque du rotor. La vitesse initiale du souffle du rotor est directement proportionnelle au carré de la charge alaire.

3. L'importance du vent résultant au niveau du sol est inversement proportionnelle à la hauteur du rotor, lorsque celui-ci est en effet de sol.

4. L'importance du vent résultant n'est pas verticalement uniforme au-dessus d'un point au sol. En général, on estime que les vents les plus forts soufflent aux environs de 5 à 20 pouces au-dessus du sol pour la plupart des hélicoptères militaires.

5. La hauteur au-dessus du sol des vents les plus forts est directement proportionnelle à l'effet du diamètre du disque du rotor et à la hauteur de ce disque par rapport au sol.

6. On enregistre généralement les vitesses maximales dans un cercle d'un rayon égal à 1 à 1,5 le diamètre du disque, calculé à partir du point d'impact.

Par exemple, un UH-1A Huey a un diamètre de rotor de 44 pieds et une charge alaire de 4,34 livres par pied carré. La vitesse maximale du vent produit est de 3000 pieds/minute. Les hélicoptères plus gros, comme le Sky Crane, avec un diamètre de rotor de 72 pieds et une charge alaire de 10,32 livres par pied carré, peuvent produire des vents d'une vitesse supérieure à 10 000 pieds/minute. Au cours d'études effectuées par le centre de recherche aéromédicale de l'armée américaine, il a été établi que les risques de dégâts causés par les effets primaires de la pression du souffle des rotors étaient extrêmement peu probables dans le cas de notre famille

actuelle d'appareils opérationnels et expérimentaux. Par exemple, la première trace de traumatismes des tissus apparaît à une pression de 518,4 livres par pied carré, ce qui équivaut à une vitesse indiquée de 375 noeuds. L'éclatement des poumons, à cause d'une surpression statique, peut survenir à partir d'une pression de 278 livres par pied carré. Toutefois, les effets secondaires de la pression du vent peuvent gêner l'être humain. On compte entre autres les blessures par abrasion causées dans les zones non abritées du sable et de la poussière; ainsi que les blessures aux yeux à cause de dépôts de corps étrangers, notamment les risques de perforation cornéenne et de déshydratation de la conjonctive. Les expérimentateurs recommandent de porter des lunettes de protection lorsque le vent est supérieur à 15 noeuds (environ 1320 pi/min).

On a également étudié le travail d'un individu exposé au souffle d'un rotor. Des calculs montrent que la dépense d'énergie, pour se déplacer dans des vents de 50 noeuds (pouvant être engendrés par les hélicoptères) se situe dans la gamme des travaux "exagérément durs" (consommation énergétique supérieure à 12,5 kilocalories par minute). Dans des rafales de vent de 50 noeuds, le travail peut en plus de la fatigue, provoquer des pertes momentanées d'équilibre qu'il est possible de compenser avec un certain effort. Par contre, des vents avec rafales de 75 noeuds suffisent à faire perdre totalement l'équilibre.

Les mêmes expérimentateurs ont également analysé les effets de la perte de chaleur à cause d'une convection extrême. Ils ont conclu que le facteur de refroidissement éolien est important par vent de 40 milles à l'heure, et peut provoquer une hypothermie en cas d'exposition prolongée. Cependant, ils ont précisé que si un homme travaillant dans le souffle d'un rotor brûlait 10 à 20 kilocalories par minute, à cause d'un effort musculaire, il serait protégé dans une certaine mesure et que, bien qu'une importante perte de chaleur par convection soit possible, des vêtements ordinaires seraient suffisants pour l'en protéger. J'ai remarqué cependant que ces études ont été effectuées à Fort Rucker, Alabama, où le climat est beaucoup plus tempéré qu'au Canada. En hiver, on peut s'attendre à ce que les risques de gelures soient très importants au cours des opérations sur hélicoptères à cause des effets du refroidissement éolien et de la vitesse des vents engendrés par le rotor. On peut s'attendre, pour des hélicoptères assez petits, à des vents de 30 milles à l'heure. À 15°F (-9,5°C), le facteur de refroidissement éolien (température équivalente) serait de -19°F (-7°C) et à 0°F (-18°C), il serait de -41°F (-40,5°C). Les hélicoptères plus gros produisent des vents de vitesses supérieures et il faut donc que le personnel au sol soit protégé contre le froid. Il faut aussi faire très attention à se protéger les yeux, tant à cause du refroidissement éolien que des possibilités de blessures causées par des débris.

Le rotor de queue, lorsque l'hélicoptère est au sol, est très dangereux. Même des personnes habituées aux hélicoptères ont heurté des rotors en rotation. Tout le personnel au sol et tous les passagers devraient être renseignés sur la façon de s'approcher d'un hélicoptère et de s'en éloigner lorsque les rotors sont en mouvement. Transports Canada diffuse des brochures à cet effet.

Dans le prochain chapitre nous verrons comment rendre un rotor de queue plus visible.

CHAPITRE VI

TROUBLES DE L'ORIENTATION ET PROBLÈMES VISUELS

Troubles de l'orientation

Les aéronefs à voilure tournante ont pour principale caractéristique de pouvoir se déplacer dans n'importe quelle direction. Il s'agit réellement d'un vol dans les trois dimensions. Malheureusement, les instruments de la plupart des hélicoptères ne permettent de mesurer qu'une vitesse en translation avant et une vitesse verticale. Seuls les appareils du haut de gamme, équipés d'instruments Doppler, peuvent mesurer les vitesses latérale et arrière. De ce fait, le vol dans certaines conditions comme le voile blanc, aussi appelé temps laiteux, le vol par nuit noire ou le vol aux instruments, peut déboucher sur certaines situations critiques. En fait, des analyses effectuées par l'armée américaine ont démontré qu'en IFR la plupart des accidents survenaient au cours de vols en translation latérale (22). Notons au passage que 64% de ces accidents se sont produits de jour et qu'ils étaient probablement dus en partie aux effets de la stimulation lumineuse intermittente.

Certains des troubles de l'orientation sont liés à la conception même des hélicoptères, où l'on ne retrouve pas le tableau de bord en T habituel à hauteur des yeux, qui sert normalement de référence d'assiette à un pilote d'avion. Sur hélicoptère, c'est l'extrémité du plan du rotor qui sert le plus souvent de référence d'assiette mais, dans certaines conditions, cette référence peut s'estomper et, de toute façon, elle varie trop pour être vraiment utile. En vol de nuit, le disque peut ne pas être visible et les reflets à l'intérieur de la bulle peuvent gêner comme c'est le cas sur CH-112 en vol au-dessus d'une source lumineuse. Dans ce cas, la lumière se déplace vers le bas du champ de vision, comme on peut s'y attendre, mais un reflet monte rapidement le long de la bulle, donnant une fausse impression de piqué. À cause de cette grande surface de plexiglas, l'autosinésie est un phénomène plus fréquent sur hélicoptères. Le sujet qui en est atteint croit voir, à cause de certains caprices de notre système nerveux, une lumière se déplacer spontanément dans une direction quelconque. Les mécanismes de l'orientaion peuvent être altérés par la stimulation lumineuse intermittente, par les vibrations et par le bruit, qui sont tous des phénomènes importants à bord des hélicoptères. Il a été démontré que la plupart des accidents et incidents liés aux troubles de l'orientation ont tendance à survenir tôt dans la carrière d'un pilote, aussi serait-il souhaitable de dispenser la formation aux instruments dès que possible (11). De toute évidence, des cours d'instruction aéromédicale devraient faire partie du programme de formation des pilotes d'hélicoptère pour les aider, entre autres, à reconnaître les conditions météorologiques propices aux troubles de l'orientation.

Les chiffres suivants, publiés par l'armée américaine, indiquent la répartition des accidents et incidents au cours des diverses phases du vol (22):

Incidents

Vol en palier rectiligne - 20,3%

Virage en descente - 12,0%

Virage en montée	- 11,5%
Roulage en translation	- 10,5%
Virage en palier	- 8,6%
Vol en formation	- 7,6%
Descente	- 5,4%
Atterrissage	- 5,4%
Décollage	- 3,8%
Montée	- 2,9%
Exercice d'autorotation	- 1,3%
Approche plate	- 1,0%
Autorotation réelle	- 0,2%
Divers	- 9,5%

(Fig. 6-1)

Accidents

En vol	-44,4%
Atterrissage	-27,8%
Roulage en translation	-16,6%
Décollage	- 2,8%
Remise de gaz	- 2,8%
Autorotation	- 2,8%
Inconnu	- 2,8%

(Fig. 6-2)

L'utilisation de l'horizon artificiel comme principal moyen de référence suscite une réelle difficulté. Cet instrument, tel qu'il se présente sur les aéronefs à voilure fixe, est rarement utilisable sur hélicoptère. En avion, l'horizon artificiel indique une assiette de piqué en descente et une assiette de cabré en montée. Cependant, l'inverse peut se produire sur hélicoptère, selon la vitesse (voir fig. 6-3). Le pilote

d'hélicoptère doit donc tenir compte des informations données par d'autres instruments, comme le variomètre, l'anémomètre et l'altimètre, pour savoir s'il monte ou s'il descend. Un système d'affichage informatisé, intégrant toutes ces informations, permettrait de résoudre ce problème.

Il est intéressant de remarquer que, contrairement à toute attente, le pourcentage d'incidents et d'accidents dus aux troubles de l'orientation est très élevé en vol rectiligne en palier. À ce sujet, il convient de faire état des difficultés prévues aux vols IFR ou VFR de nuit. La plupart des anciens appareils à moteurs alternatifs ne sont pas munis d'indicateurs d'assiette gyroscopiques et le pilote doit se référer aux instruments de base comme l'indicateur bille-aiguille, l'anémomètre et le compas (quelque peu primitif) pour s'orienter. Même à bord des hélicoptères récents, la disposition des instruments laisse à désirer car le tableau est situé bas et sur le côté par rapport au champ de vision du pilote, ce qui oblige à faire des mouvements de tête pour voir les instruments. De plus, la vaste surface vitrée est très sujette à des phénomènes de reflets, ce qui peut ajouter une certaine confusion en vol. Le tout, associé au fait qu'il n'est pas facile de compenser les aéronefs à voilure tournante pour libérer les mains du pilote, rend encore plus difficile le vol de nuit ou le vol en IFR.

Les niveaux d'expérience des pilotes de l'aéronautique civile canadienne ayant eu des accidents à cause de troubles de l'orientation en vol, ont fait l'objet d'une étude qui a porté sur une série de 55 accidents survenus entre 1976 et 1978. Comme on pouvait s'y attendre, on retrouve une pointe pour tous les pilotes totalisant environ 500 heures de vol. Au-delà, il y a une diminution et un palier après 1000 heures de vol mais il y a une nouvelle pointe pour les pilotes totalisant entre 2000 et 3500 heures de vol. En comparant le cas des pilotes d'hélicoptères et celui des pilotes d'avions, on a pu constater que cette pointe secondaire était principalement causée par les pilotes de voilure tournante.

Ross Elliot, dans son article "Weather Accidents, The Odds" a analysé les accidents liés à la météorologie (36). Entre le 1er janvier 1976 et le 30 septembre 1980, il s'est produit 29 accidents attribués à la météorologie. Le phénomène de voile blanc en a causé 10, le vol dans les nuages (bas ou en altitude) en a provoqué 8, la perte de visibilité dans la neige 5, l'ingestion de neige et les pannes moteurs en ont provoqué 3, le givrage 2 et le vol dans la brume ou au-dessus de plans d'eau miroitante 1. Ces accidents ont eu cinq causes principales:

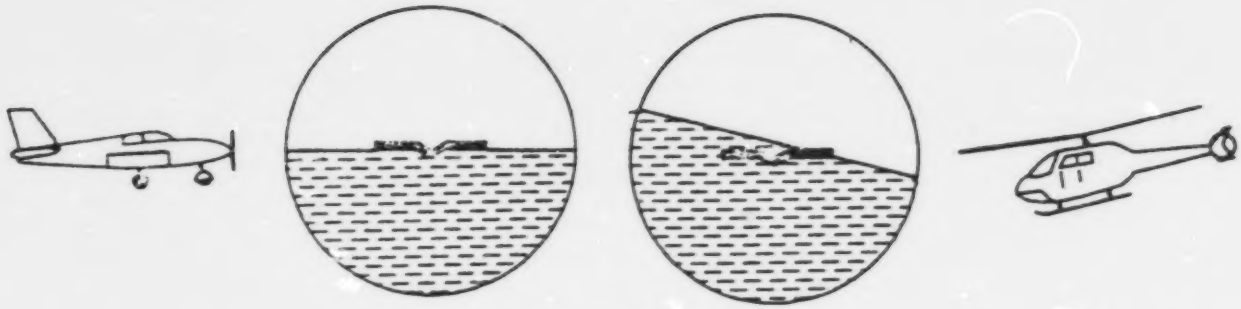
1. Peu d'hélicoptères ont des instruments de vol IFR.

2. Les pilotes travaillent souvent dans des régions éloignées où il est difficile, voire impossible, d'obtenir des renseignements météorologiques fiables.

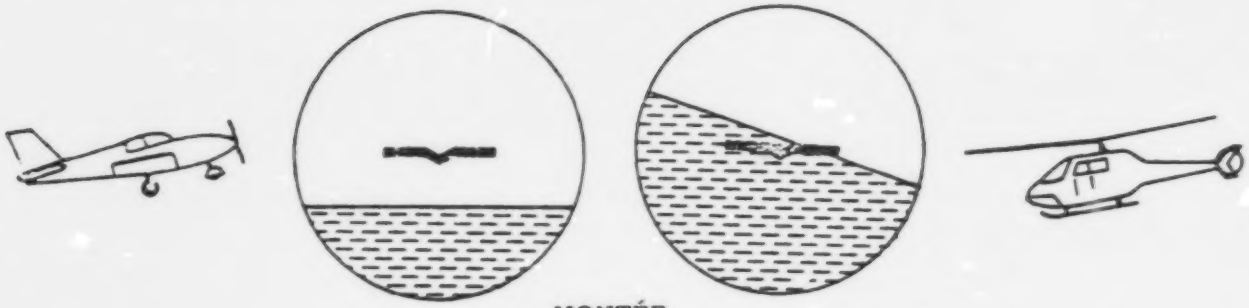
3. La faible vitesse et la grande manoeuvrabilité des hélicoptères incitent certains pilotes à se placer dans des conditions qu'éviterait un pilote d'avion. Les mêmes raisons peuvent conduire un client à attendre plus de l'hélicoptère et, par voie de conséquence, du pilote.

4. Les conditions de travail causent souvent une fatigue qui altère le jugement.

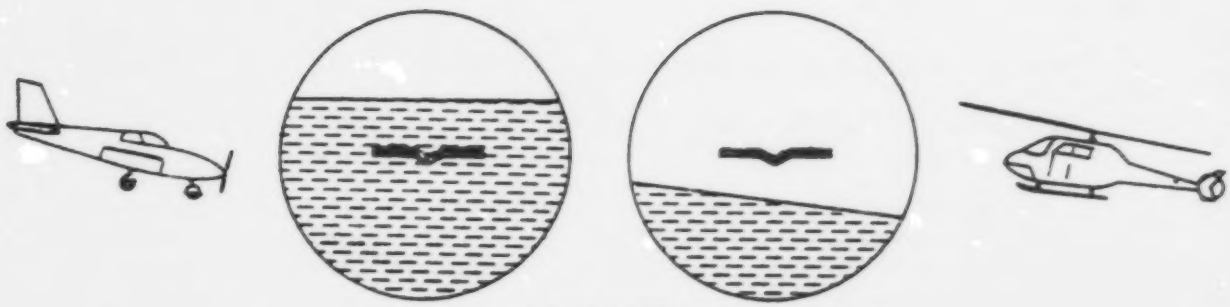
5. Les pilotes d'hélicoptère travaillent souvent seuls, sans le soutien d'un personnel d'encadrement.



CROISIÈRE



MONTÉE



DESCENTE

Fig. 6-3

L'accident dont il est question ci-après illustre les troubles de l'orientation en vol de nuit:

En novembre 1972, un Bell 206A Jet Ranger, avec quatre passagers à bord, a disparu en vol de nuit par mauvais temps, dans le nord du Canada. Malgré des recherches intensives, il a été impossible de retrouver ni l'hélicoptère ni les passagers. L'été suivant, le corps du pilote a été découvert sur la berge d'un lac et, plusieurs mois plus tard, on a retrouvé la jambe d'un des passagers. Plusieurs parties de l'hélicoptère, dont les flotteurs, le capot du moteur et une partie du plancher, ont par la suite été trouvées à diverses occasions dans le lac. Bien que l'on n'ait jamais découvert l'épave principale, on a pu tirer certaines conclusions à partir des blessures caractéristiques relevées sur les restes humains et des dégâts des diverses parties de l'hélicoptère. On a pu établir que, la nuit de l'accident, l'hélicoptère avait heurté l'eau en piqué prononcé avec légère inclinaison latérale, à la vitesse de croisière, c'est-à-dire aux environs de 100 noeuds. Au moment de l'accident, le ciel était couvert à 1500 pieds, il neigeait et il tombait une pluie verglaçante; il y avait un léger givrage dans la couche et peut-être même en dessous. À partir des constatations médicales, on a pu établir que ni le pilote ni les passagers ne s'attendaient à l'impact, ce qui corrobore la thèse de l'accident lié aux troubles de l'orientation. On a également constaté d'après son dossier que le pilote n'avait ni annotation pour le vol de nuit ni qualification de vol aux instruments, ce qui n'est pas inhabituel au Canada. Comme nous l'avons déjà dit, le tableau de bord est légèrement en bas et à gauche par rapport au commandant de bord, et les interrupteurs ne sont pas tous faciles à atteindre. Certains mouvements de tête sont donc nécessaires pour bien voir tous les instruments. Cet accident s'est très certainement produit par nuit noire, alors que le pilote essayait de rester en VFR en fixant alternativement son attention sur le tableau de bord et à l'extérieur, ce qui nécessite d'importants mouvements de tête.

Illusions d'optique

Phénomène de défilement

Il faut accorder une certaine attention aux cas bénins d'illusions d'optique. En général, ces illusions ne posent pas de problèmes, sinon au tout début de l'entraînement, mais elles peuvent provoquer des accidents et des incidents lors de certaines opérations. Pour les comprendre, il faut comprendre le phénomène d'acquisition des références visuelles en cours de vol. En vol rectiligne en palier, il se produit un phénomène de défilement bien connu de tous ceux qui conduisent une automobile. Les objets semblent défiler dessous, sur les côtés et au-dessus du véhicule vers la périphérie, à partir d'un point central vers lequel le véhicule se dirige. Ces objets se déplacent tout d'abord lentement mais prennent de la vitesse à mesure que le véhicule s'en approche et vont encore plus vite au moment où ils sortent du champ de vision (voir fig. 6-4).

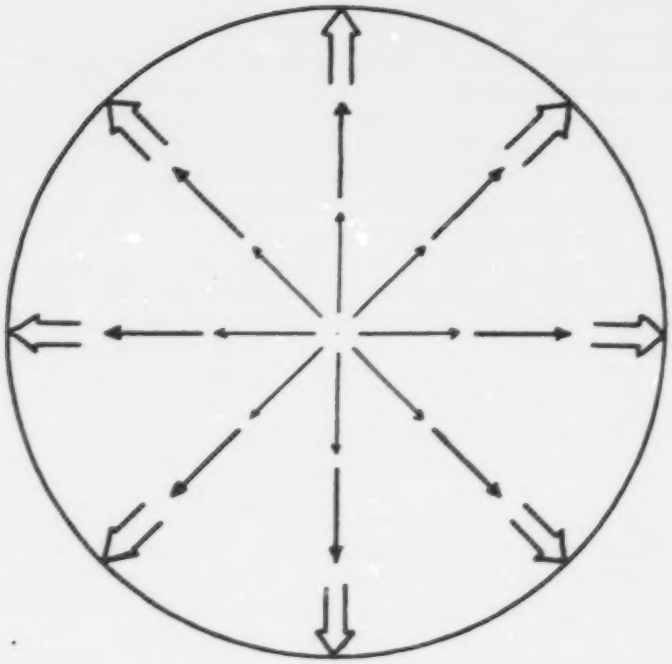


Fig. 6-4

J'ai personnellement remarqué plusieurs phénomènes intéressants au cours de l'entraînement des pilotes d'hélicoptères:

1. il se produisait souvent une translation arrière au cours de la mise en stationnaire;

2. par contre, il se produisait souvent une translation avant lors du poser après stationnaire;

3. il se produisait souvent une translation avant ou arrière, indifféremment, au cours des rotations sur place, selon le sens de la rotation.

Ces trois phénomènes, bien que survenant souvent de jour, se produisaient presque toujours la nuit, selon le niveau d'expérience du pilote. C'est pourquoi, nous avons orienté l'analyse dans cette direction. Grâce à la coopération des Forces armées canadiennes, nous avons pu observer les opérations de nuit sur hélicoptère OH-58A Kiowa. Chaque appareil était équipé d'appareils photographiques de 35 mm, montés sur trépied et disposés à angle droit par rapport à l'axe longitudinal de l'hélicoptère. Au cours du décollage, la photo était prise en pose sur un film Ectachrome X à F16. Le pilote, en tirant sur le levier de pas général, commandait le début de l'exposition qui se terminait lorsque l'hélicoptère était stabilisé en vol stationnaire.

Sur l'aire d'atterrissage, le balisage était constitué par des balises lumineuses simples à l'avant de chaque appareil, auxquelles s'ajoutaient la lumière diffuse provenant des fenêtres du hangar et la lumière des projecteurs situés sur le toit du hangar. Les références visuelles situées à proximité immédiate de l'appareil étaient constituées par une seule lampe de faible intensité, par la texture et les fissures du revêtement que faisaient ressortir les projecteurs, par la lumière diffuse venant des fenêtres du hangar et par les feux des hélicoptères. Il a été établi que tous les pilotes avaient tendance à passer en translation arrière au cours du décollage à partir du stationnaire et les traces lumineuses sur les photographies ont été analysées. De là, on a pu distinguer nettement deux types de trajectoire de vol, variant selon le niveau d'expérience du pilote. La photographie 6-1 illustre la trajectoire rectiligne adoptée par un instructeur expérimenté, alors que la photographie 6-2 représente le profil généralement suivi par un élève ayant 50 heures de vol, en stage de transformation. Vous remarquerez que l'angle résultant est à peu près le même.

Photo 6-1

Photo 6-2

L'analyse d'une dizaine de cas a permis de déterminer un angle de 48 degrés par rapport au sol.

Par simple calcul trigonométrique, on a déterminé que la hauteur moyenne du vol stationnaire était de 4,5 pieds et que celle de la translation arrière était de 4,1 pieds. La méthode normalisée, à ce moment-là, prévoyait un stationnaire de nuit à 6 pieds, ce qui prouve que le sens du relief des pilotes était altéré et qu'ils avaient tendance à surestimer la hauteur.

Après un exposé général sur les phénomènes provoqués par les repères visuels, presque tous les pilotes ont pu réduire leur erreur en adoptant, en moyenne, un angle de 15 degrés par rapport à la verticale. Cependant, ils ont de nouveau surestimé leur hauteur, et la mise en stationnaire à une hauteur moyenne de 4,9 pieds s'accompagnait d'une translation de 1,3 pied vers l'arrière.

À partir des données recueillies et de l'expérience pratique, il semble que cette translation arrière au cours de la mise en stationnaire se produit à cause de simples illusions d'optique (19). Le fait que le pilote ait tendance à se servir de références situées immédiatement dessous et à l'avant de l'hélicoptère est corroboré par la surestimation des hauteurs, même après qu'il ait reçu pour instruction de prendre l'horizon comme référence. Sur OH58A, le champ de vision moyen, défini entre l'avant et l'arrière de la lucarne de nez, est d'environ 23 degrés, ce qui donne un angle entre le sol et l'oeil de 20 degrés pour l'extrémité avant de la lucarne et de 43 degrés pour l'extrémité arrière (figure 6-5).

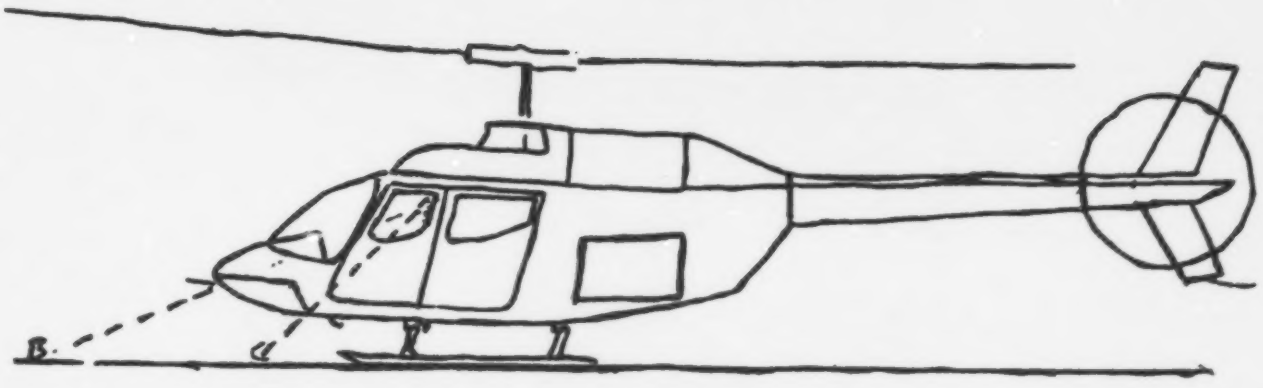


Fig. 6-5

Étant donné qu'il se concentre pour conserver, entre autres choses, une assiette de vol en palier, le pilote risque fort de ne pas être aussi sensible aux stimuli visuels périphériques qu'aux stimuli visuels centraux. Lors de la mise en stationnaire, les objets situés immédiatement au-dessous et à proximité de l'hélicoptère semblent défiler sous l'appareil, ce qui donne l'illusion d'une translation vers l'avant, surtout de nuit, lorsqu'il n'y a que peu de références au-dessus et sur les côtés de l'appareil, pour aider à supprimer l'illusion (les photos 6-3 et 6-4 illustrent celle-ci). Résultat, le pilote a tendance à conserver un champ de référence fixe et donc à reculer au cours de la montée verticale. Le profil, suivi par des pilotes moins expérimentés, peut s'expliquer par cette tendance à voler de façon plus désordonnée ou par la répugnance à tirer sur la commande de pas cyclique à proximité du sol. Au cours d'une montée verticale assez rapide, il se produit une illusion de dérive vers l'avant et le pilote provoque alors une translation arrière en essayant de conserver les mêmes références par rapport au sol.

Théoriquement, un pilote de Kiowa ayant les yeux à 5,4 pieds au-dessus du sol et utilisant une référence-sol à l'extrémité la plus rapprochée de la lucarne inférieure décollerait en formant un angle d'environ 43 degrés par rapport au sol, angle donnant lieu à une translation vers l'arrière de $\frac{6}{\tan 43}$ = 6,4 pieds. Il semblerait ainsi qu'en conditions réelles, le pilote est conscient du phénomène de déplacement apparent vers l'avant.

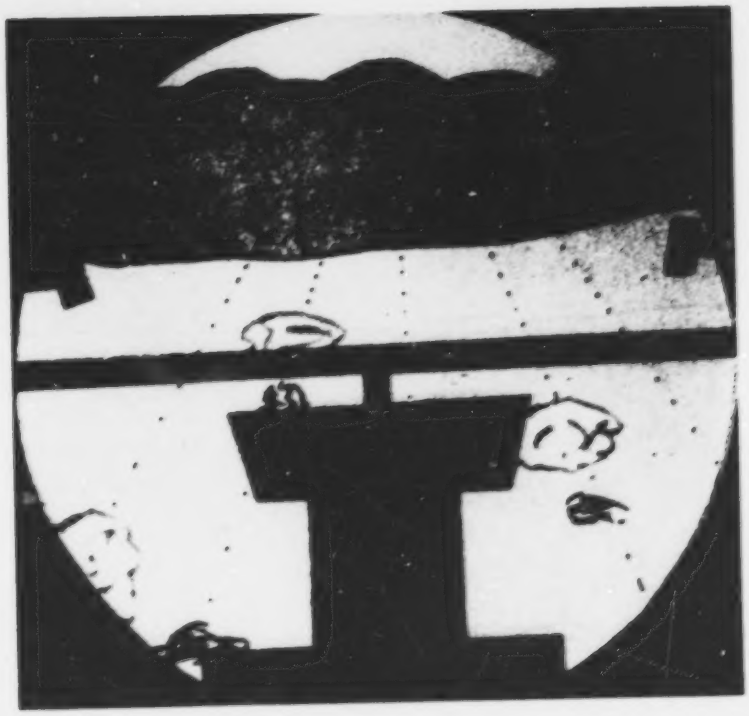


Photo 6-3

Photo 6-4

Ce même genre de défilement pourrait expliquer la tendance des élèves-pilotes à tirer sur la commande de pas cyclique au cours des rotations sur place à gauche et à l'abaisser au cours des rotations sur place à droite. Étant donné qu'un pilote se concentre surtout sur la partie droite de son champ de vision (27), les objets placés à proximité de l'hélicoptère semblent défiler sous ce dernier au cours d'un virage à gauche et s'en éloigner au cours d'un virage à droite. En fait, il est facile de neutraliser cette tendance si l'on est au courant de ce phénomène de perception et si l'on prend un plus grand nombre de références dans le champ de vision périphérique.

C'est à cause du dessin laissé par les traces lumineuses sur les photographies que ce phénomène a été appelé en anglais "Leaning Tower Phenomenon" (phénomène de défilement, en français). Les aspects pratiques de ce phénomène, du point de vue de la sécurité des vols, se manifestent principalement en piste où les obstacles peuvent être assez proches et au cours des évolutions en zones exiguës. Une seule source lumineuse placée à l'avant de l'hélicoptère ne constitue pas une référence visuelle suffisante pour l'exécution de manoeuvres précises; il faut veiller à ce que le pilote dispose d'un balisage lumineux latéral. Un T lumineux, couramment utilisé en vol de nuit (voir fig. 6-8), fournit de meilleures références latérales si le pilote atterrit ou décolle à côté de la queue de ce T. En pratique, cette technique permet aussi de réduire l'erreur moyenne qui donne lieu à une translation arrière.

Le pilote doit disposer de références visuelles multiples pour l'approche et la transition vers le stationnaire. L'angle de présentation des références doit rester le même lorsque le défilement des repères au sol est uniforme. Lorsqu'une approche est correctement exécutée vers un point, ce point doit rester fixe dans le champ de vision, et les autres objets doivent sembler se déplacer en périphérie. Le pilote juge de son défilement par rapport au sol d'après la vitesse dont sont animés les objets qui, passant en périphérie, quittent son champ de vision. En finale d'approche, il faut prendre une référence située derrière le point d'atterrissage, sous peine d'arriver trop court. En se rapprochant du point d'atterrissage prévu, le pilote "casse" sa vitesse de translation tout en conservant sa vitesse de rapprochement. Les techniques d'approche et de translation pour le stationnaire sont compliquées et font appel à une bonne dose de jugement, obligeant le pilote à "anticiper" sensiblement, d'autant plus que d'importantes variations de régime sont nécessaires lorsque la machine passe de la portance en translation à l'effet de sol. L'amplitude de cette "anticipation" s'acquiert par tâtonnements et à force d'expérience. De nuit, cinq feux sont disposés en forme de T, la figure 6-8 montre leur espacement et leur orientation par rapport au vent.

Dès que l'ensemble des feux semblent former un triangle équilatéral, le pilote se met en descente et conserve la même présentation et une vitesse de rapprochement apparente constante.

Voile blanc

Le phénomène de voile blanc (whiteout) fait naître une difficulté qu'on éprouve sur tous les types d'aéronefs. Il résulte de l'absence d'un horizon net à cause des nuages et du manque de contraste d'un sol enneigé. Le voile blanc se produit ainsi lorsqu'il y a aspiration de la neige par le ou les rotors. En fait, au cours d'une approche pour le stationnaire sur un champ recouvert de neige, le voile blanc provoqué par la neige poudreuse peut se manifester très rapidement, sans signes précurseurs, raison pour

laquelle la plupart des pilotes se posent sans stationnaire préalable. C'est également pour cela que les décollages à vitesse verticale maximale sont recommandés lorsqu'il y a risque de voile blanc par projection de neige poudreuse.

Presbytie

La mise au point de lunettes à double foyer est également très importante, surtout pour les pilotes âgés. On trouve depuis plusieurs années des lunettes à double foyer pour les pilotes d'avion, mais on ne s'est jamais préoccupé de mettre au point des verres spéciaux pour les pilotes d'hélicoptère. Sur la plupart des verres à double foyer, les lentilles de lecture sont en bas (voir fig. 6-9) ce qui, étant donné que le pilote d'hélicoptère doit regarder par les lucarnes inférieures de son appareil (voir photo 6-5), l'oblige à se "tordre" le cou.

La baisse de la vision stéréoscopique à travers la partie inférieure de la bulle, peut rendre très délicats les exercices d'autorotation et les manoeuvres à proximité du sol. De plus, les verres à double foyer couramment employés ne permettent pas au pilote de lire les instruments placés sur un tableau de plafond.

Photo 6-5

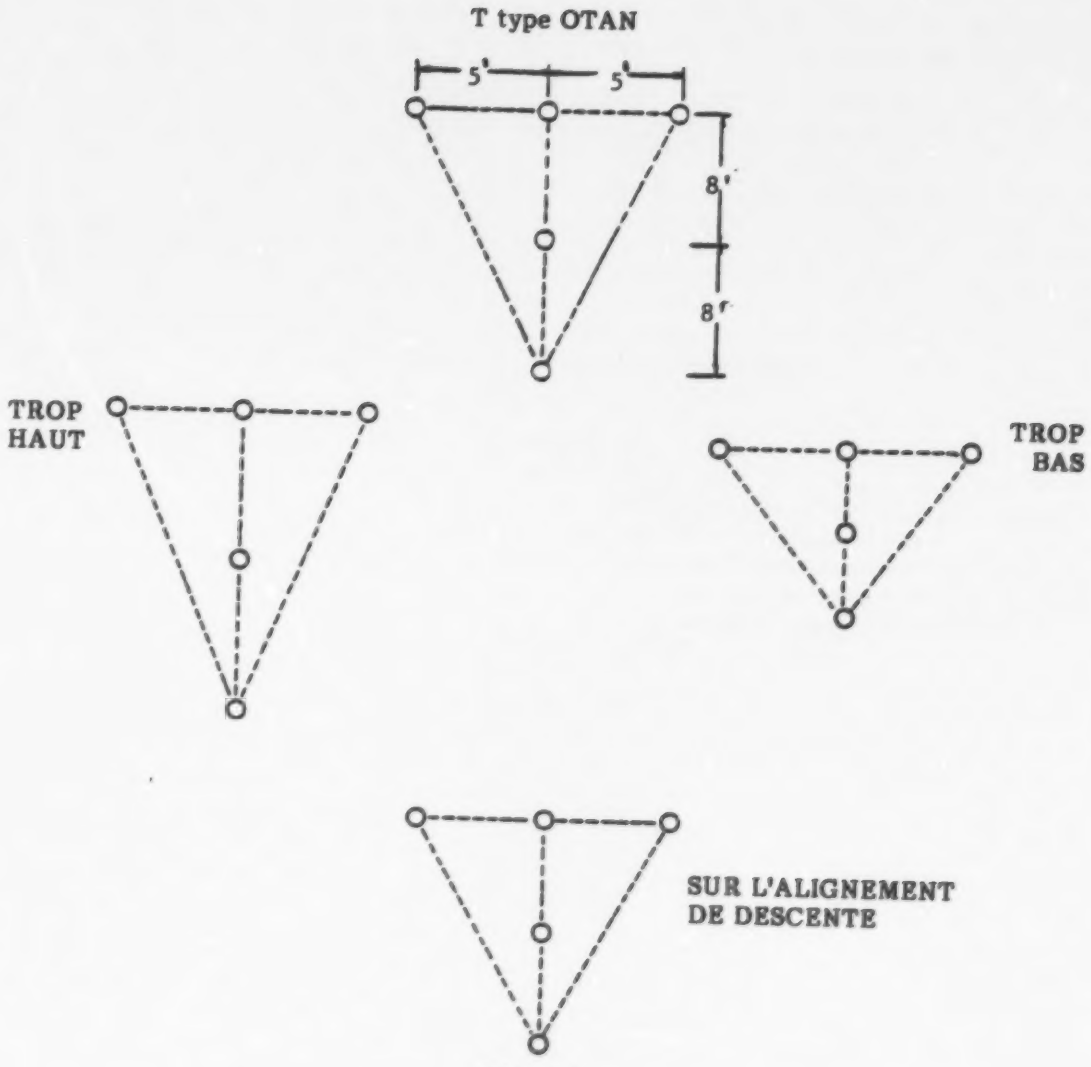
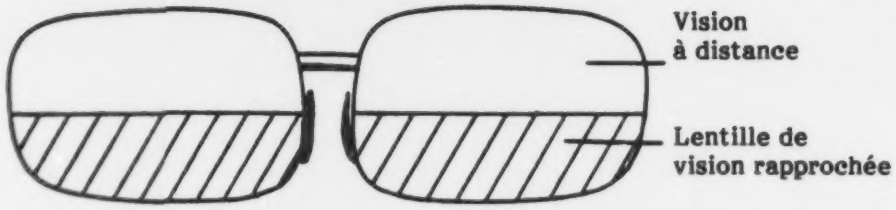


Fig. 6-8

Autres troubles visuels

Vol avec visière d'occultation

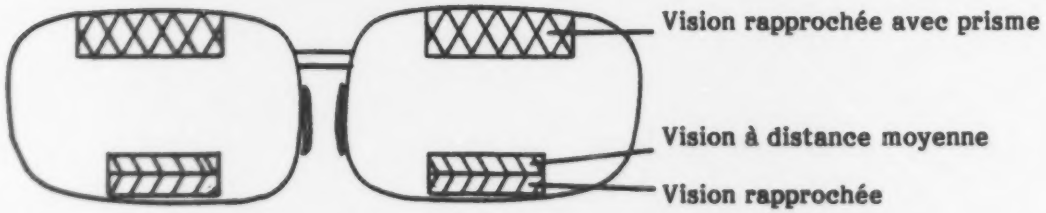
Un des problèmes liés à l'apprentissage du vol aux instruments sur hélicoptère tient à l'absence de visières correctement conçues à cet effet. Sur hélicoptère, à cause des grandes surfaces en plexiglas, les visières "avion" ne cachent pas complètement toutes les références extérieures, et il est assez difficile de mettre au point une visière répondant aux besoins des pilotes d'hélicoptère et offrant un certain degré de sécurité.



VERRES À DOUBLE FOYER NORMAUX

Fig. 6-9

À l'heure actuelle, l'auteur met au point des lunettes à foyers multiples pour les pilotes d'aéronefs à voilure tournante. Le modèle définitif ressemblera probablement à celui de la figure 6-10.



VERRES À DOUBLE FOYER SPÉCIAUX

Fig. 6-10

Phénomène de détachement

Bien que ce phénomène ne soit pas aussi grave que les troubles de l'orientation, caractérisés par une perception erronée de l'assiette ou du mouvement de l'appareil, le phénomène de détachement - se traduisant chez le pilote par des perturbations de l'orientation par rapport à l'appareil ou à la terre - peut faire naître une grande anxiété. D'après A.J. Benson (1), parmi les nombreux membres d'équipage de la Royal

Air Force envoyés pour consultation auprès des spécialistes à cause de troubles de l'orientation en vol, les cas de mauvaise évaluation par les pilotes, par rapport à l'appareil et au sol, étaient presque aussi fréquents que ceux qui donnaient une impression fallacieuse de l'orientation de l'appareil. Les impressions de détachement et d'isolement sont presque toujours associées au vol à haute altitude sur avion, lorsque la charge de travail du pilote est très légère. Cependant, dans son article, Benson décrit plusieurs cas de détachement chez des pilotes d'hélicoptères. Des 29 pilotes ayant décrit ce sentiment d'irréalité et de détachement, 7 étaient des pilotes d'hélicoptères. Deux d'entre eux avaient ressenti les symptômes au cours de longs vols en palier, en mer, alors qu'ils se dirigeaient vers les plates-formes de forage. Deux autres avaient éprouvé ce sentiment de détachement et d'insécurité pour la première fois au-dessus d'une mer calme, par brume sèche. L'un d'eux en avait ressenti les symptômes à 800 pieds et, pour l'autre, l'altitude critique avait été de 3000 pieds.

Cas n° 1

Un pilote d'hélicoptère de 48 ans, totalisant plus de 3000 heures de vol, effectuait souvent la navette pour desservir une plate-forme au large. Au cours d'un de ces vols, pourtant semblable aux nombreux autres qu'il avait effectués au cours des trois années précédentes, il est monté à 500 pieds et a pris le cap de la plate-forme. L'horizon se distinguait mal à cause d'une brume sèche et la mer était calme. Après environ 10 minutes de vol à cap et altitude constants, il s'est soudain senti léger, "hors du monde". Il a mieux perçu les faibles mouvements de l'hélicoptère mais n'était victime d'aucun trouble de l'orientation. Il n'a ressenti aucun des symptômes caractéristiques de l'hyperventilation, bien qu'il soit devenu nerveux et ait eu une tendance à surpiloter. Ces symptômes ont persisté jusqu'à ce qu'il aperçoive la plate-forme et commence sa descente. Après avoir ressenti ces phénomènes inhabituels de perception, il est retourné à terre avec un copilote et il n'a plus ressenti d'autre symptôme.

Il n'avait pas éprouvé ce phénomène pendant cinq mois, lorsque, dans des circonstances presque identiques à celle du premier incident, il a de nouveau ressenti ce sentiment d'irréalité. Cette fois-là, il avait eu plus peur et avait senti que, le cas échéant, il aurait été incapable de faire face à une situation d'urgence. Ces symptômes ont disparu à l'atterrissage, bien qu'il était toujours mal à l'aise. Pendant les deux jours suivants, il a effectué cinq vols et à chacun d'eux il était plus perturbé qu'au précédent. Alors, comme il était agité et doutait sérieusement de son aptitude à voler en sécurité, il a signalé l'incident à son médecin.

Cas n° 2

Un officier âgé de 26 ans, totalisant 700 heures de vol sur hélicoptères de reconnaissance, touchait presque au terme d'une affectation de trois mois au cours de laquelle il avait effectué 85 à 90 heures de vol par mois. La plupart des vols se déroulaient à moins de 200 pieds-sol et comportaient de nombreux décollages et atterrissages. À la fin d'une mission type, en remontant à 1500 pieds pour revenir à sa base, il s'est soudain senti "hors du monde" et complètement détaché; ce sentiment a persisté jusqu'à ce qu'il descende à 200 pieds et voie distinctement le sol. Il a attribué l'incident à la fatigue, mais les symptômes se sont reproduits lors de

vols ultérieurs dès qu'il passait au-dessus de 500 pieds, sauf s'il était à proximité d'un nuage et disposait de repères visuels pour évaluer son mouvement relatif. Les sensations dissociatives, qui le faisait se comparer à "une petite chose perdue dans l'immensité", étaient occasionnellement accompagnées par l'impression qu'il allait s'évanouir, mais jamais son pilotage ne s'en est trouvé altéré. Pourtant, il craignait de ressentir de plus en plus les troubles de la perception et doutait de pouvoir continuer à voler en sécurité. Deux mois après le premier incident, il a consulté son médecin.

Ces phénomènes de détachement peuvent être associés à toute une variété de fausses perceptions des mouvements de l'appareil. Le plus souvent, le pilote croit que celui-ci est instable, bien que parfois il développe une hypersensibilité aux déplacements, à l'assiette ou aux variations d'assiette. Dans la plupart des cas, le phénomène se produisant lorsque l'appareil est en vol rectiligne en palier, les symptômes risquent d'être attribués à des troubles de l'orientation spatiale. La détection de ces symptômes est très importante car le phénomène de détachement peut être le catalyseur d'un état anxiogène chez des sujets sensibles et provoquer des symptômes de dissociation sous la forme d'une réaction conditionnée. Les deux principaux facteurs nécessaires à l'apparition du phénomène de détachement sont une absence de repères pour l'orientation à l'extérieur du poste de pilotage et un profil de vol stabilisé. En avion, le phénomène de détachement se produit rarement en dessous de 20 000 pieds, mais en hélicoptère la faible vitesse et le champ de vision beaucoup plus large offert au pilote, sans référence sur la cellule, peuvent contribuer à l'apparition du phénomène. De plus, l'instabilité propre de l'hélicoptère rend le pilotage beaucoup plus difficile et peut donner lieu à une sensation d'instabilité lorsque les repères visuels sont rares. Personnellement, j'ai eu l'impression que l'hélicoptère se balançait sur la pointe d'une épingle alors que je volais aux environs de 1000 pieds. Par ailleurs, il semble qu'on soit beaucoup plus sujet à l'acrophobie (vertige) en hélicoptère qu'en avion où l'on se sent enveloppé par le poste de pilotage.

Les sensations de renoncement liées au phénomène de détachement, même lorsqu'elles sont associées à de fausses perceptions de l'orientation de l'appareil, ne semblent pas constituer une sérieuse menace pour la sécurité du personnel, quoique l'anxiété qui les accompagne puisse diminuer la qualité du pilotage. Il est cependant possible d'éviter les cas de névrose et l'indisponibilité de membres du personnel navigant en renseignant les équipages sur ces troubles de la perception.

Rendre l'hélicoptère plus visible en peignant les pales du rotor principal

En 1967, le Centre de recherche aéromédicale de l'aviation américaine (U.S. Army Aeromedical Research Unit, Fort Rucker) a entrepris une étude sur l'amélioration des caractéristiques de repérage des hélicoptères grâce à diverses "robes" pour les pales de rotor principal. Cette étude a été entreprise à cause de l'augmentation du nombre de collisions aériennes des hélicoptères. Il faut préciser qu'un fuselage d'hélicoptère n'offre qu'une surface réduite. L'étude en question a permis de découvrir que les atterrissages de jour, dans des zones exiguës et poussiéreuses, étaient les principales causes d'accidents (au Canada, on compterait également les zones enneigées). Le souffle du rotor de l'hélicoptère de tête provoque souvent un nuage de poussière qui empêche les pilotes des autres hélicoptères se présentant derrière pour atterrir de voir la cellule et les pales du rotor principal du premier appareil. La façon la plus pratique d'éviter ce genre de collision semble consister en un moyen visuel, qu'il

s'agisse d'un éclairage extérieur, d'une peinture, ou des deux. Il est très difficile d'apercevoir une pale de rotor principal, sauf si l'observateur est placé directement sous l'appareil, bénéficiant alors d'un contraste maximal lorsque les pales noires se détachent sur un ciel clair. Par contre, lorsqu'on regarde des pales noires sur un sol foncé, comme c'est souvent le cas lorsqu'on est au-dessus de l'hélicoptère, on a du mal à voir le rotor principal.

On compte sept principaux facteurs modifiant les caractéristiques de repérage des hélices ou des pales de rotor:

1. le contraste entre les couleurs qui composent la peinture de la pale;

2. le contraste de couleurs entre la peinture de la pale et le fond sur lequel elle sera vue;

3. le contraste de luminosité entre les diverses peintures utilisées;

4. le contraste de luminosité entre la peinture et le fond sur lequel elle sera vue;

5. la répartition des diverses couleurs sur la pale;

6. la vitesse circonférentielle de la pale;

7. les dimensions et le nombre des pales.

Après leur étude, les expérimentateurs ont conclu qu'entre toutes les peintures essayées, la plus efficace comprenait une combinaison de blanc, de rouge fluorescent, d'orange et de noir. Ils ont également conclu qu'un arrangement quelconque de couleurs valait mieux que rien.

D'autres études ont également été effectuées pour déterminer si la peinture des pales du rotor principal avait un effet sur la stimulation lumineuse intermittente (8). Elles ont porté, entre autres, sur deux groupes de personnes pour déterminer les effets subjectifs et les effets lus sur l'électroencéphalogramme lorsque les sujets observaient les hélicoptères en vol. Il a été déterminé qu'il ne se produisait aucun effet subjectif lors du vol en formation sur hélicoptère dont les pales de rotor principal étaient peintes. Par contre, les pales peintes avaient une utilité supplémentaire, car elles semblaient servir d'aides visuelles pour évaluer les accélérations, les décélérations, l'assiette et les positions relatives. La stimulation lumineuse intermittente n'a pas été une des causes majeures de vertige stroboscopique. Les hélicoptères dont l'extrados des pales avait été peint de façon symétrique n'ont gêné en rien le travail normal des élèves-pilotes.

Cependant, il reste certains problèmes liés à ces peintures, pourtant fort utiles, sur les pales de rotor principal. Par exemple, on a découvert que la peinture fluorescente avait tendance à se transformer en une couche visqueuse se déplaçant le long de la pale après être entré en contact avec l'omniprésent liquide de transmission. De plus, à cause de ce même état visqueux, la peinture retenait des débris contribuant à déséquilibrer la pale. Comme, au bout de deux à quatre mois d'exposition à la lumière du soleil, la peinture s'estompait et perdait son efficacité, les coûts de maintenance et d'entretien augmentèrent considérablement; donc, l'USAARL a recommandé l'emploi d'une laque jaune brillant à la place de la peinture fluorescente

rouge orange. Bien que l'appareil soit moins visible ainsi, l'utilisation de la laque résout certains problèmes de maintenance et constitue un compromis raisonnable. En outre, on a essayé d'employer du papier collant orange à la place de la peinture, ce qui n'a pas donné satisfaction car le papier a tendance à se décoller après quelques heures d'utilisation.

Visibilité du rotor de queue

Éternel problème d'utilisation des hélicoptères: celui du personnel au sol qui se fait heurter par les rotors en rotation. Des études ont été entreprises par le laboratoire de recherches aéromédicales de l'armée américaine (U.S. Army Aeromedical Research Laboratory), en 1972, pour trouver des peintures permettant d'améliorer les caractéristiques de repérage des rotors de queue (10). Les dessins suivants ont été retenus:

1. du bout de la pale au moyeu, une zone de quatre pouces est peinte en rouge orange fluorescent ("Da-Glo") le reste de la surface étant divisé en tiers peints alternativement en noir mat et blanc brillant. Les sections noires et blanches de l'autre pale sont inversées pour que l'arrangement ne donne pas un dessin concentrique. Cette répartition de couleurs est la meilleure à condition que le "Da-Glo" soit repassé tous les trois à quatre mois;

2. même chose que ci-dessus, si ce n'est que de la laque jaune remplace le "Da-Glo";

3. même chose que pour le point 1 ci-dessus, si ce n'est que les extrémités des pales ne sont pas peintes.

Le professeur T.S. Whiteside, de l'Institut de médecine aéronautique de la RAF (RAF Institute of Aviation Medicine), a conclu récemment que des bandes décalées, peintes alternativement en blanc et en noir, offraient de meilleures caractéristiques de repérage.

CHAPITRE VII

CONTRAINTES OPÉRATIONNELLES

Jusqu'ici nous n'avons analysé que des illusions et contraintes (stress) d'ordre purement physiologique. Nous constatons que l'être humain est quelque peu vulnérable même lorsqu'il ne pilote une machine que de temps en temps. Si l'on rajoute à cela les aspects plus abstraits liés aux contraintes opérationnelles et psychologiques, la possibilité de combinaison de facteurs est tout de suite évidente.

Nous avons déjà vu quels étaient les problèmes de pilotage dus aux propriétés aérodynamiques propres à l'hélicoptère. Il ne faut pas oublier qu'un pilote doit constamment faire appel à son jugement et à son expérience en cours de vol, de telle sorte que le pilotage d'un hélicoptère est un exercice aussi bien mental que physique. Le pilote doit passer 100% de son temps aux commandes et contre-vérifier fréquemment ses instruments à cause de la difficulté de pilotage d'un appareil à voilure tournante.

Il faut également tenir compte du milieu de travail: les hélicoptères évoluent souvent très près des arbres, des bâtiments, des câbles et d'autres obstacles qui sont autant de dangers potentiels. Les courants aériens au voisinage de ces obstacles sont souvent imprévisibles et il ne faut jamais oublier d'en tenir compte dans les zones exiguës. L'altitude-densité, la charge et la puissance disponible sont d'autres facteurs à retenir. À titre d'exemple, voyons comment se déroule la reconnaissance d'une zone exiguë suivie par une approche.

Tout d'abord le pilote effectue une reconnaissance générale (ou haute) à environ 500 pieds-sol pour déterminer les points suivants:

1. vitesse et direction du vent,
2. présentation générale de la zone, meilleurs axes et points de virage,
3. altitude de la zone d'atterrissage,
4. obstacles en hauteur sur la zone d'atterrissage et à proximité,
5. trajectoire d'approche la plus plate possible selon le vent,
6. meilleurs axes de dégagement et de remise des gaz,
7. dimensions et forme de l'aire de poser et possibilités d'évolution en sécurité,
8. choix du point visé en approche,
9. zone de poser,
10. type de poser, c'est-à-dire normal ou en dévers.

Par la suite, le pilote effectue un passage de reconnaissance à basse altitude, à 50 pieds au-dessus des obstacles, et confirme ou réévalue certains des facteurs déjà mentionnés. À ce stade, il peut effectuer une vérification approximative de la puissance disponible par comparaison à la puissance nécessaire en croisière au régime maximal. Le pilote peut alors effectuer son approche et atterrir si tout lui paraît normal.

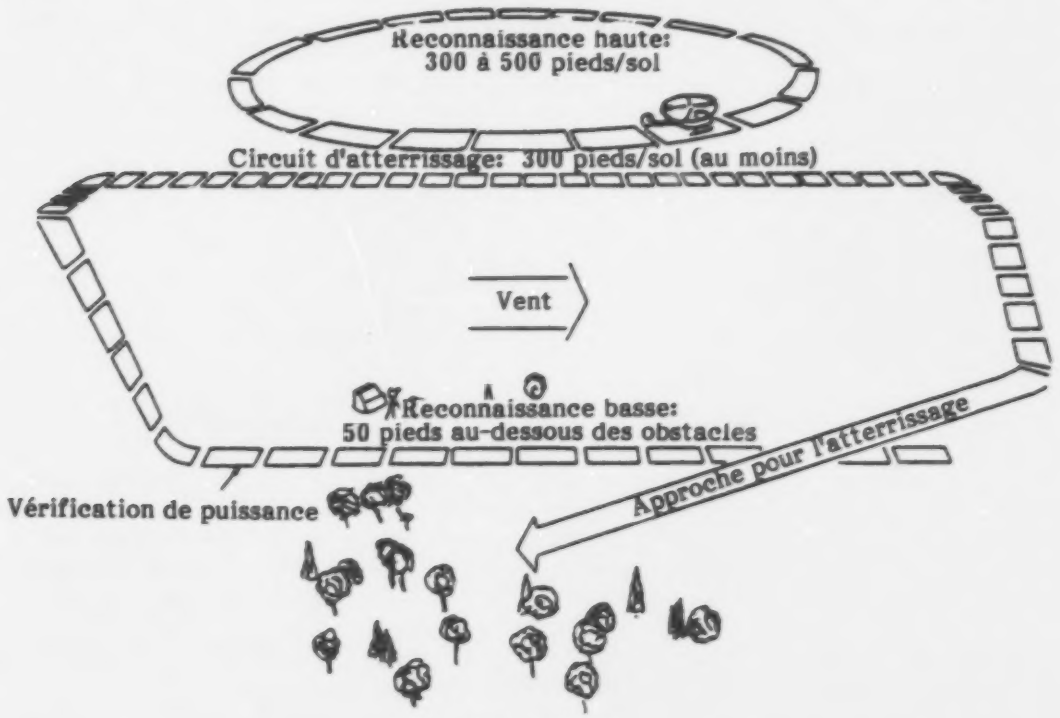


Fig. 7-1

Il ressort de ce que nous venons de voir que le choix et la matérialisation d'une approche vers une zone exiguë est une tâche exigeante, nécessitant jugement et habileté. Le pilote doit effectuer son approche au-dessus d'obstacles en sachant qu'une erreur de jugement ou une panne de moteur se solderait par un désastre, il doit faire évoluer son fragile appareil à proximité d'objets au sol qui pourraient facilement réduire son rotor en miettes. Au combat, le pilote militaire est en outre confronté à la menace des tirs ennemis.

L'évaluation de la fatigue des pilotes d'hélicoptères a fait l'objet de certaines recherches. Dans une excellente étude, conduite par Billings et son équipe (4,5), un hélicoptère léger a été équipé d'un système enregistrant le régime rotor, les déplacements du levier de pas collectif, du levier de pas cyclique et de la manette de gaz. Les quatre sujets étaient des pilotes dont l'expérience sur voilure tournante variait de 100 heures à 5600 heures et qui effectuaient des missions régulières de surveillance de lignes à haute tension. Ils ne savaient pas que des paramètres de leur pilotage étaient enregistrés. En cours de mission, les pilotes avaient tendance à laisser varier plus largement le régime du rotor.

L'amplitude du déplacement des commandes a augmenté pendant les dernières heures et, après deux heures de vol, les cas d'inversion de commande ont été plus nombreux. Il ne semblait pas y avoir de différence entre le vol à basse altitude, à proximité des obstacles, et le vol en croisière, beaucoup moins éprouvant. En fait, les analyses ont indiqué un important désaccouplement des actions au levier de pas collectif et à la manette de gaz au cours des périodes calmes. L'expérience acquise sur voilure tournante n'a eu aucun effet notable sur la tolérance à la fatigue.

Dans une autre étude, Billings et la même équipe (2) ont mesuré la contrainte physique qu'impose le pilotage des hélicoptères en surveillant le rythme cardiaque et l'apport en oxygène. Il a découvert que le métabolisme basal pouvait, au cours des manoeuvres en stationnaire, être deux fois plus rapide qu'au repos. À titre de comparaison par rapport aux valeurs enregistrées au repos, le métabolisme basal lors d'une approche aux instruments sur DC-3 ou DC-4 augmente de 68%. Pendant le roulage sur DC-3, il est deux fois plus rapide qu'au repos, comme pour le stationnaire en hélicoptère. Deux éléments ressortent: premièrement, le pilotage de l'hélicoptère est une fonction toujours exigeante et, deuxièmement, l'expérience n'influe nullement sur les valeurs citées ci-dessus.

Une autre étude, effectuée par Stern et son équipe (27), avait pour but d'analyser l'activité oculaire des pilotes d'hélicoptère en vol. Plusieurs points ressortent de cette étude, notamment le fait que les pilotes d'hélicoptère, particulièrement les débutants, passent plus de temps à scruter le secteur droit que le secteur gauche (probablement parce que, sur la plupart des hélicoptères, le commandant de bord est à droite). Au bout d'un certain temps passé en vol, les chercheurs ont fait les remarques suivantes:

1. l'activité de recherche optique diminue dans le plan horizontal;

2. l'activité de recherche optique diminue dans le plan vertical;

3. il y a augmentation proportionnelle du temps consacré à une autre activité que la recherche;

4. il y a diminution des clignements de paupières;

5. le clignement et les mouvements des yeux se désaccouplent. (Étant donné que l'acuité visuelle diminue quand il y a mouvement des yeux ou clignements des paupières, elle serait optimale si ces mouvements étaient simultanés. C'est en fait ce qui se produit, mais comme il y a perte de synchronisation avec le temps l'acuité visuelle diminue légèrement. Bien que ce phénomène ne soit probablement pas sensible en ce qui concerne la vision en générale, il peut constituer un indicateur de fatigue; notons au passage qu'il se produit relativement tôt au début du vol.)

J'ai personnellement constaté et confirmé ces observations lors de mon cours de base sur CH112 Hiller, mais nous y reviendrons plus tard.

Les variations du vent sont parmi les difficultés de pilotage les plus irritantes; tout changement de vent peut entraîner de grandes modifications des techniques de pilotage, par exemple lors des autorotations complètes. Pour permettre un arrondi normal et un poser en sécurité, la vitesse idéale du vent est d'environ 10 noeuds.

Lorsqu'elle est plus faible, il faut accentuer l'arrondi, mais la vitesse-sol peut rester importante. Par fort vent, un léger arrondi suffit à accumuler les tours au rotor et l'on a tendance à arrondir trop haut et à l'excès. On considère qu'un vent avec rafales de 10 noeuds constitue la limite pour une autorotation complète effectuée en sécurité. Au sujet de cet arrondi, précisons qu'il est difficile de juger de sa hauteur puisqu'elle se situe entre 75 et 100 pieds-sol. Il devient presque impossible de juger des altitudes à plus de 100 pieds-sol.

Le vent peut aussi avoir d'autres effets: par exemple, il est plus facile de maintenir le vol stationnaire par vent modéré que par vent nul, mais il est plus difficile de se déplacer en translation au roulage ou d'effectuer des rotations sur place par vent de travers. Les transitions à partir du stationnaire sont plus faciles avec vent que sans vent, car le phénomène de basculement du rotor est réduit étant donné que la machine acquiert sa portance en translation avant le décollage.

En exploitation civile deux graves problèmes de sécurité aérienne se posent: (1) le nombre d'heures de vol imposé au pilote et (2) la mauvaise alimentation. Dans bien des cas, les pilotes d'hélicoptère doivent voler de 9 à 15 heures par jour sans périodes de repos suffisantes. Au sein des Forces armées canadiennes, une vieille règle veut qu'un pilote à l'instruction n'effectue pas plus de 5 heures de vol par jour; lorsqu'il est opérationnel il ne dépasse pas 6 heures, sauf en cas extrême.

Au cours des dix dernières années, on a beaucoup appris au sujet de l'influence d'une bonne alimentation sur les fonctions mentales et sur la fatigue. Par exemple, on sait à présent que, pour bien fonctionner, le cerveau a besoin de combustible, comme n'importe quelle machine; le manque de combustible se traduit par une diminution de l'activité cérébrale.

Pour assurer ces fonctions cérébrales, les deux principaux combustibles sont le glucose et l'oxygène. Si l'on manque de l'un ou de l'autre, le fonctionnement général s'en trouve affecté.

Oxygène (O_2)

L'oxygène, qui constitue 21% de l'atmosphère, est intégré au sang par la fonction respiratoire et, grâce à la circulation sanguine, il est amené au cerveau. Alors que celui-ci ne représente qu'environ 2% du poids total du corps, 20% du volume sanguin total lui est envoyé à chaque battement cardiaque, ce qui montre son importance en fait d'activité métabolique. Malheureusement, le cerveau ne peut stocker d'oxygène et, de ce fait, il lui faut une alimentation continue. Tout pilote sait que la pression atmosphérique diminue lorsque l'altitude augmente, elle est divisée par deux tous les 18 000 pieds-mers. Étant donné que le rapport d'oxygène reste de 21%, cela signifie que la pression partielle diminue constamment: Au niveau de la mer on aurait 21% de 776 mm Hg (mercure), soit 160 mm Hg, et à 18 000 pieds, 80 mm Hg. À 10 000 pieds, 21% de 552,4 représentent 110 mm Hg.

La pression partielle d'oxygène dans les alvéoles pulmonaires peut être exprimée par la formule suivante:

$$PAO_2 = PIO_2 - \frac{PACO_2}{R}$$

où PAO_2 = pression de l'O_2 dans les alvéoles
PIO_2 = pression de l'O_2 inspirée
$PACO_2$ = pression du gaz carbonique (CO_2) dans les alvéoles
R = coefficient respiratoire

PIO_2 = (PT - 47) x 21%

PT est la pression atmosphérique ambiante et le chiffre 47 correspond à 47 mm Hg qui est la pression de la vapeur d'eau dans les voies respiratoires.

Le coefficient respiratoire R est le rapport entre la production et l'élimination de CO_2. Il varie, entre autre, selon le régime alimentaire. Un régime à forte teneur en graisse donne un R de 0,85, alors que les hydrates de carbone donnent un R de 1,0 ce qui est préférable. La $PACO_2$ est habituellement d'environ 40 mais elle peut diminuer à cause de l'hyperventilation.

Au niveau de la mer, la PAO_2 est généralement de 103 mm Hg environ alors qu'à 10 000 pieds elle diminue de la façon suivante:

PT = 520 mm Hg
PIO_2 = ,21 (520-47) = 100
PAO_2 = 100 - 40/R, en supposant que R = 1
PAO_2 = 60 mm Hg

On considère que 60 mm Hg est une valeur limite pour un sujet en bonne santé et un apport d'oxygène supplémentaire est donc recommandé au-dessus de 10 000 pieds, particulièrement lorsqu'un effort physique (comme en exige le pilotage d'un hélicoptère) ou une certaine concentration sont nécessaires.

Il est prouvé que le système nerveux central est affecté par l'hypoxie des tissus (diminution de l'alimentation en oxygène) qui peut se produire à basse altitude. Par exemple, l'acuité visuelle de nuit diminue à une altitude de l'ordre de 5000 pieds et les études effectuées à l'Institut de médecine aéronautique de la RAF font ressortir que les facultés d'apprentissage peuvent être altérées dès 6000 pieds. Aux environs de 10 000 pieds, le pilote peut éprouver de la somnolence, de la fatigue, des maux de tête, de légers troubles de coordination, de l'hyperventilation, et il peut aussi être incapable d'effectuer certains calculs avec rapidité et précision.

Vinson a démontré qu'il y avait en cas d'hypoxie moyenne une diminution de l'aptitude mentale au filtrage et de la capacité de dissociation d'attention. Sauf pour un pilote vivant en permanence à haute altitude, il n'y a aucune acclimatation possible. Les effets de l'hypoxie sont aggravés par la fumée de cigarette à cause de l'inhalation de monoxyde de carbone.

De toute évidence, il faut faire preuve de prudence lors des vols à haute altitude ou en montagne.

Alimentation

Le second combustible nécessaire au cerveau est le glucose, qui s'obtient par métabolisme des hydrates de carbone (le glucose est un hydrocarbure à chaine courte des graisses et des protéines). Les niveaux sanguins sont réglés par le pancréas qui s'efforce de maintenir un niveau constant bien que nos habitudes alimentaires nord-américaines ne lui rendent pas la tâche facile.

Il est de pratique courante, lors du petit déjeuner, (soit dit en passant un repas très important pour le pilote), de consommer des hydrates de carbone simples sous la forme de sucre contenu dans la confiture, dans le miel ou dans le sucre blanc répandu sur les céréales. Le tout donne lieu à une rapide augmentation du taux de sucre dans le sang. Le pancréas déclenche alors une sécrétion d'insuline qui a pour effet de diminuer le taux de sucre en obligeant les cellules à le transformer en graisse. Comme la décharge d'insuline est trop importante, le taux de sucre tombe à un niveau inférieur au niveau idéal (hypoglycémie).

L'hypoglycémie se caractérise par une sensation de faim, par des étourdissements, des vertiges, des nausées, des sueurs et, éventuellement, par un comportement aberrant. Donc, deux ou trois heures après le petit déjeuner, nous prenons une pause café et, afin d'augmenter rapidement le taux de sucre dans le sang, beaucoup d'entre nous ont l'habitude de prendre un petit supplément sucré, une barre de chocolat par exemple. Bien que le taux de sucre augmente rapidement, le cercle vicieux se répète et l'on ne parvient jamais à atteindre un état de stabilité.

Il a été prouvé que l'hypoglycémie peut être la cause d'accidents, bien que les réactions aux effets de l'hypoglycémie varient d'une personne à l'autre (37, page 583). Certains patients ont ressenti des symptômes lorsque leur niveau de glucose dans le sang était aux environs de 75 mg% alors que d'autres n'éprouvent aucun symptôme à 30 mg%. Les premiers symptômes d'hypoglycémie peuvent être psychologiques, neurologiques, ou un peu des deux; ils peuvent non seulement être provoqués par l'hypoglycémie elle-même mais également par des sécrétions secondaires, une agitation incontrôlée et même par une décharge d'adrénaline. Le jugement et la perspicacité peuvent être réduits et ces phénomènes se traduisent par des troubles de l'orientation, voire des accès d'excitation maniaque.

Des convulsions localisées ou généralisées peuvent également survenir et l'on a même noté des cas d'attaques narcoleptiques.

Dans la partie intitulée "Pilot Incapacitation in Flight" (incapacité du pilote en vol) du manuel de l'instructeur préparé par la "United Air Lines", on fait état d'un incident attribué par la suite à l'hypoglycémie:

"Le commandant, à la renommée pourtant excellente, avait effectué une approche aux instruments très irrégulière. La percée s'est faite à 300 pieds dans une pluie battante. Juste avant d'atteindre le seuil de piste, le commandant s'est vu trop haut (ce qui n'était pas le cas) et a poussé sur le manche, augmentant ainsi la vitesse verticale de descente. Dans l'accident qui a suivi l'appareil a été gravement endommagé."

Parmi les 36 cas de perte de connaissance en vol que Rayman (38) a analysé, un au moins était attribuable à l'hypoglycémie. Harper et Kidera, dans leur étude sur l'hypoglycémie chez les pilotes de ligne (39) ont également découvert que certains des pilotes analysés ne présentaient aucun symptôme lorsque le taux de sucre était relativement faible, alors que chez d'autres les symptômes apparaissaient lorsque le taux de sucre était pourtant assez élevé. Dans certains cas, le lien a été établi entre la vitesse de diminution du glucose ou le temps passé en hypoglycémie, et la symptomatologie. Parmi les 175 pilotes qui ont subi les tests de tolérance au glucose, 25% présentait les caractéristiques de l'hypoglycémie (chute du taux de glucose en dessous de 50 à 60 mg%). Dans ce groupe, la réaction au glucose dans le sang se caractérisait généralement tout d'abord par une hyperglycémie une demi-heure à une heure après, puis par une hypoglycémie secondaire, deux à trois heures plus tard. Avant la fin de la deuxième année d'étude, 65% de ces pilotes signalaient avoir des symptômes d'hypoglycémie. Les pilotes disaient souffrir de somnolence et éprouver des difficultés à réfléchir, être irritables, avoir des tremblements, des malaises et ressentir divers symptômes pathologiques de l'appareil digestif. Au début de l'étude, un pilote qui avait d'abord craint de signaler ces symptômes, a appelé par téléphone pour indiquer qu'il avait dû stationner en bordure de la route après avoir été victime d'une certaine confusion mentale.

Deux cas ayant compromis la sécurité des vols ont été analysés: dans le premier, il s'agissait d'un copilote de 34 ans qui avait été victime de paresthésie et de faiblesse à l'avant-bras et à la jambe gauche, d'un scotome scintillant bilatéral et de confusion mentale. Dans le second cas, c'était un commandant de bord de 53 ans qui avait été victime de l'écrasement que nous avons vu plus haut.

Les auteurs ont effectué des tests de tolérance au fructose. Le fructose est absorbé beaucoup plus lentement dans l'intestion et favorise moins la libération de l'insuline par le pancréas. Ces résultats confirment l'hypothèse que les fruits, à forte teneur en fructose libre, pourraient être une bonne source d'énergie pour ceux qui réagissent au glucose et souffrent d'hypoglycémie.

Ellis R. Taylor a étudié l'épidémiologie des accidents d'aviation dans l'USAF (40). Lawton a signalé plusieurs cas de quasi-abordages, d'incidents et d'accidents qui semblent avoir été provoqués par une incapacité du pilote liée à l'hypoglycémie. Une enquête plus poussée a permis de conclure que l'hypoglycémie avait pu être la cause d'une augmentation marquée du nombre d'accidents survenant en fin de matinée. L'amélioration des habitudes alimentaires des élèves a été associée à une diminution marquée du nombre d'accidents. Hutchison, dans son étude sur les employés de bureau (41) a établi que la consommation d'une simple boisson rafraîchissante au milieu de la matinée et de l'après-midi améliorait la faculté de concentration.

Roy Fox, chef de la sécurité à Bell Helicopter Textron Ltd., a établi que le nombre d'accidents d'hélicoptères était plus élevé pendant la période suivant immédiatement les repas, particulièrement après celui de midi. Lors d'enquêtes sur les accidents résultant d'un mauvais jugement, j'ai noté que ces accidents avaient tendance à se produire juste après midi, ou après 15 heures.

L.C. Ou, dans une étude des effets de l'altitude sur la glyconéogénèse chez les rats, a trouvé qu'à haute altitude (18 000 pieds) la gluconéogénèse hépatique était altérée, avec pour résultat une accumulation des précurseurs glyconéogéniques et l'apparition d'hypoglycémie (42). On a découvert qu'un mauvais métabolisme du glucose se produisait à des altitudes relativement faibles, dès 5000 pieds, et qu'il provoquait une baisse de sucre dans le sang. Il est donc évident qu'il faut faire attention au régime alimentaire, particulièrement si l'on doit voler à haute altitude.

Pour éviter de manquer de sucre, ce qui pourrait affecter le rendement, je conseillerais un régime faible en hydrates de carbone simple et en graisse. En fait, on peut également diminuer la prise de protéines. Les hydrates de carbone complexes ont tendance à laisser brûler les calories de façon beaucoup plus uniforme (environ 2 cal./min) que les sucres simples et on ne constate pas le même effet secondaire avec le sucre. Je recommanderais la consommation fréquente de granola, de substances analogues (encore une fois en évitant les sucres) ou de fruits qui risquent moins de provoquer d'hypoglycémie secondaire.

La consommation des graisses, animales et végétales, devraient être réduite autant que possible. Les graisses peuvent provoquer un phénomène d'hypoxie en modifiant le coefficient respiratoire, comme nous l'avons déjà vu, et provoquer un engorgement des globules rouges, ce qui peut entraîner une hypoxie des tissus. Le tabac peut causer l'hypoxie à cause du monoxyde de carbone, ainsi qu'une diminution du sucre dans le sang. Dans le même ordre d'idée, le faible taux de sucre dans le sang peut, en partie, provoquer la "gueule de bois" et l'abus de boisson alcoolisée doit être évité.

Malheureusement, les habitudes alimentaires des pilotes d'hélicoptères laissent souvent à désirer. J'ai déjà vu des pilotes fatigués, avec une "gueule de bois", prendre tôt le matin un petit déjeuner composé de saucisses grasses, d'oeufs, de toasts et de confitures, et avaler rapidement un dernier toast en fumant une cigarette, puis enfourner quelques sucreries dans la poche et bondir droit dans les nuages. N'ayant pas le temps de prendre le repas du midi, ils consomment un coca-cola et mangent des barres de chocolat jusqu'au dîner où ils prennent un énorme steak accompagné d'une pomme de terre au four copieusement arrosée de beurre à l'ail; bref, un repas tout à fait contraire à ce qu'on pourrait considérer comme un bon régime alimentaire pour un pilote ou pour n'importe qui.

Nombre d'heures de vol

Les pilotes d'hélicoptère sont souvent appelés à effectuer d'interminables heures de travail dans des régions relativement isolées où ils doivent eux-mêmes assurer l'entretien de leur appareil. Souvent, ils ne disposent pas d'installations pour se reposer ou, s'il y en a, elles sont sales, bruyantes mal éclairées et mal meublées.

Comme nous le verrons dans le prochain chapitre, le vol sur hélicoptère impose une lourde charge de travail au pilote, non seulement sur le plan mental, mais également sur le plan physique. La fatigue est la conséquence normale d'une exposition continue à ce milieu. Étant donné la difficulté propre au pilotage des hélicoptères, les périodes de travail devraient être plus courtes que sur avions, contrairement à ce qu'avance la Commission Bader dans son rapport. Les équipages devraient disposer de pièces propres, aérées, bien éclairées et bien meublées et pouvoir consommer des fruits et autres produits nourrissants. Ils devraient également pouvoir s'allonger pour se reposer.

À cause de l'importante charge de travail qu'impose l'instruction, chaque instructeur devrait avoir au plus deux élèves, particulièrement dans la phase précédant le lâcher. Les élèves ne devraient pas effectuer plus de deux vols par jour étant donné que tout vol supplémentaire n'améliore pas l'assimilation. Les longues journées de travail en deux périodes, devraient, autant que possible, être évitées.

Les recommandations ci-dessus s'adressent au personnel de gestion, le pilote ne devrait pas avoir à décider d'utiliser son hélicoptère au-delà des limites normales. Malheureusement, une des premières choses dont il faut tenir compte en cas de fatigue, d'hypoxie, de faible taux de sucre dans le sang, d'absorption d'alcool ou de tout autre produit toxique, est cette incapacité à juger de façon réaliste et objective de ses propres capacités.

Rachialgie

Bien que ce chapitre soit consacré aux contraintes opérationnelles, le problème des rachialgies trouve certainement très bien sa place ici puisqu'il constitue une importante contrainte opérationnelle ainsi qu'un problème de santé lié au travail de pilote d'hélicoptère. Dans son article intitulé "Backache in Helicopter Pilots" (Rachialgies du pilote d'hélicoptère) (43), Goede note qu'un chercheur français a établi que 87,5% des pilotes d'hélicoptère analysés, tous ayant plus de 500 heures de vol, souffraient de mal de dos en vol. Bien que la plupart ressentaient des douleurs dans le bas du dos, les cas de douleurs cervicales étaient également élevés. Il a découvert par ailleurs que ces douleurs apparaissaient après 300 heures de vol environ et qu'elles étaient davantage susceptibles de se produire après une période de vols intenses. Dans le cas des pilotes souffrant déjà d'une maladie de la colonne vertébrale, la douleur apparaissait entre la cinquantième et la centième heure de vol. Une fois ces symptômes établis, tout vol prolongé ou difficile provoquait l'apparition de la douleur, particulièrement lorsque le pilote devait se concentrer, par exemple, dans des opérations en zones exiguës.

Dans une étude sur les pilotes d'hélicoptère effectuée par la British Airways en 1980, 150 questionnaires ont été envoyés et 100 réponses reçues. Parmi les pilotes interrogés, 50% ont déclaré qu'ils souffraient de rachialgie. Plus de 50% trouvaient que le siège n'était pas suffisamment réglable pour offrir un confort suffisant. Seize des répondants souffraient quotidiennement de mal de dos alors que 15 en souffraient chaque semaine. Cinquante répondants trouvaient que leur mal de dos les empêchaient de se concentrer, 13 qu'il était un handicap et 10 qu'il provoquait parfois une incapacité. Vingt-cinq, à un moment donné ou à un autre, ont abandonné le vol à cause du mal de dos. Six répondants trouvaient que le coussin lombaire supprimait complètement le mal de dos, alors que 43 n'étaient que soulagés. L'étude n'établit aucun lien avec l'âge, le poids ou la taille. En fait, la plupart des pilotes interrogés étaient dans la trentaine. Tous ceux qui avaient entre 6000 et 7000 heures de vol éprouvaient des problèmes de mal de dos sauf un, mais même lui n'aimait pas le siège.

Les rachialgies chez les équipages ont également fait l'objet d'une étude par Fitzgerald et Crotty (44) qui ont conclu que le nombre de navigants devant rester assis durant de longues périodes, et souvent sans interruption, était beaucoup plus important que celui du personnel des équipes au sol. Cette enquête a révélé que 13% des pilotes de

la RAF, âgés entre 20 et 50 ans, souffraient du mal de dos chaque fois qu'il volait. Ces pilotes manquaient de confort, ils ressentaient une douleur légère ou vive, souvent décrite comme étant profonde et située au milieu de la région lombaire inférieure; chez les pilotes d'hélicoptère, les symptômes étaient localisés au niveau lombaire et dorsal inférieur, souvent sur la partie gauche de la colonne. On croit que ce genre de douleur est attribuable à la position des commandes qui provoquent une certaine scoliose à gauche. Les auteurs ont établi que dans plus de 50% des cas, les équipages ne souffraient du mal de dos que lorsqu'ils étaient dans l'habitacle, les douleurs disparaissant une fois au sol. De plus, cette enquête a illustré une première pointe dans le nombre de rachialgies entre 25 et 30 ans et une autre pointe entre 40 et 45 ans.

Lorsqu'ils sont aux commandes, les pilotes d'hélicoptère sont souvent penchés vers l'avant et à gauche (scoliose à gauche), pour pouvoir garder la main sur le levier de pas collectif et avoir le bras droit plié au niveau du coude, reposant sur le genou. Pour voir au-dessus du tableau de bord, le pilote doit incliner légèrement la tête vers le haut, particulièrement s'il est petit. La musculature rachidienne est en extension constante, et une contrainte de cisaillement est appliquée sur les disques intervertébraux à cause des vibrations, particulièrement entre 4 et 8 Hz, à cause du phénomène d'amplification par la résonnance naturelle du tronc.

Une analyse ergonomique raisonnable, conduite au moment de la conception de l'hélicoptère, permettrait de supprimer une grande partie de ces problèmes de rachialgie.

McCormack (45) déclare qu'étant donné que l'homme civilisé passe le plus clair de son temps assis, il est utile de concevoir des sièges de toutes sortes pour assurer confort et aisance au travail. Les muscles du corps assurent essentiellement deux fonctions: exécuter des mouvements et maintenir une position. Pour ce qui est du maintien d'une position donnée, le nombre de muscles en activité dépend de la répartition du poids pour la position en question. Si le corps est parfaitement droit, par exemple, dans un siège, le maintien de cette posture nécessite un meilleur contrôle musculaire que lorsque le tronc est incliné vers l'arrière. C'est pour cela que les dossiers des chaises ou des sièges devraient être inclinés pour diminuer l'effort musculaire nécessaire au maintien de la posture et aussi pour réduire la fatigue. Des études ont démontré que l'angle moyen entre le siège et le dossier, que les personnes interrogées préféraient, était de 105,3 degrés. Étant donné que l'angle moyen préféré entre le siège et l'horizontale était de 6,4 degrés, l'angle total du dossier par rapport à l'horizontale était de 111,7 degrés. Des modifications dans la géométrie du siège permettraient de résoudre, en grande partie, le problème des rachialgies chez les pilotes d'hélicoptère.

Les pilotes d'hélicoptère de l'Hydro Ontario utilisent des Sikorsky S-58 pour déposer les hommes et le matériel au sommet des grands pylônes électriques. Les pilotes passent de longues périodes en stationnaire à proximité des pylônes, pendant lesquelles ils regardent par la fenêtre de droite. Ils ont établi que leur résistance à la fatigue, à cause du mal de dos, était d'environ une heure et quart. L'Hydro Ontario a depuis décidé d'employer deux pilotes par appareil pour leur permettre de se relayer aux commandes.

Le nouveau dessin des sièges des S-58 de l'Hydro Ontario et le remplacement du caoutchouc-mousse par un type de mousse plus dur, ayant des qualités d'amortissement, a permis de résoudre une grande partie du problème. À présent, les pilotes peuvent passer plusieurs heures en vol sans ressentir de fatigue et l'Hydro Ontario a pu ainsi revenir à la formule consistant à n'employer qu'un seul pilote, ce qui permet une économie de main-d'oeuvre mais surtout une amélioration du rendement des pilotes.

Un changement d'emplacement des commandes et des sièges réglables constituerait également une solution. Le manche cyclique devrait être assez près du corps et sa poignée assez basse pour que l'avant-bras puisse reposer sur la cuisse droite. Il devrait être possible de changer l'axe du levier de pas collectif sans compromettre la sécurité. Par exemple, un levier plus proche de la verticale, comme celui du Bell 222, permettrait non seulement de réduire les risques de scoliose mais éliminerait du même coup les "retours de manche". À ce sujet, Goede recommande plusieurs mesures:

1. l'examen des futurs pilotes d'hélicoptère devrait permettre de découvrir toute faiblesse ou déformation de la colonne vertébrale;

2. le nombre d'heures de vol devrait être limité à un maximum de cinq par jour et de cinquante par mois;

3. les pilotes d'hélicoptère devraient porter des casques plus légers;

4. dans les Forces armées, il devrait y avoir alternance entre les affectations sur voilure tournante et sur voilure fixe pour éviter l'accumulation rapide des heures de vol sur hélicoptère;

5. les pilotes devraient conserver leur poids idéal pour éviter d'imposer tout effort à la colonne;

6. les pilotes devraient suivre des programmes d'entraînement régulier pour renforcer leurs musculatures abdominale et dorsale et améliorer leur souplesse.

Afin de réduire l'incidence des rachialgies posturales parmi le personnel de la RAF, Fitzgerald (44) a conçu un support lombaire enveloppant, fait à la mesure du pilote. Ce dispositif expérimental a permis de supprimer complètement les symptômes dans 62% des cas et de réaliser un progrès marqué dans 32% des cas. Comme nous l'avons déjà vu au sujet de l'étude de la "British Airways", le support lombaire a permis de résoudre ce problème pour une grande quantité de victimes d'accidents. On peut trouver plusieurs types de supports lombaires sur le marché et il semble qu'ils peuvent s'avérer utiles pour résoudre ce problème de rachialgie. Personnellement, je recommanderais le recours à ce genre de support avant même que les problèmes de rachialgies ne se posent au point de résister à toute thérapie, et cela probablement parce qu'il n'est pas possible de retirer le pilote du milieu qui a tout d'abord provoqué ces rachialgies. Les coussins lombaires peuvent être fixés sur le dossier par des bandes velcro permettant un réglage en hauteur. De plus, je recommanderais qu'on utilise des mousses dures pouvant absorber l'énergie au lieu des types plus moelleux courant dans les sièges d'hélicoptère. On trouve sur le marché certaines mousses qui ont tendance à épouser les contours fessiers, favorisant ainsi une répartition des

pressions, et qui grâce à leur dureté permettent d'empêcher les mouvements latéraux qui se produisent avec des sièges plus mous. Bien sûr, l'amortissement des vibrations constitue un facteur important dans la réduction des pathologies provoquées par les contraintes vibratoires.

CHAPITRE VIII

"En fait de relation homme-machine on insiste pour que l'effort soit mental plutôt que musculaire."

CONTRAINTES PSYCHOLOGIQUES

L'élève

Les méthodes de sélection et de formation des pilotes d'hélicoptères varient d'un pays à l'autre. Dans l'armée des États-Unis, il existe un programme de formation des sous-officiers qui consiste à entraîner des débutants sans aucune expérience du pilotage. C'est à peu près ce qui se faisait en Grande-Bretagne où, à une certaine époque, les élèves commençaient par effectuer 60 heures sur "Chipmunk", après quoi ils totalisaient 125 heures sur "Hiller" et sur "Bell 47". C'est pour leur donner un certain sens de l'air tout en procédant à une première sélection aussi économique que possible qu'on les faisait voler sur "Chipmunk". Il est intéressant de noter en se référant au graphique de la figure 8-1(12), relatif aux résultats de cette méthode, qu'à partir de l'âge de 29 ans l'aptitude à assimiler le pilotage des appareils à voilure tournante diminue considérablement. On ne saurait s'en étonner si l'on considère le fait que les personnes d'un certain âge ont de la difficulté à intégrer les données relatives aux évolutions dans les trois dimensions. Ce fait corrobore la prémisse fondamentale selon laquelle le pilotage de l'hélicoptère est difficile et nécessite l'intégration d'un grand nombre de données sensorielles et de données motrices.

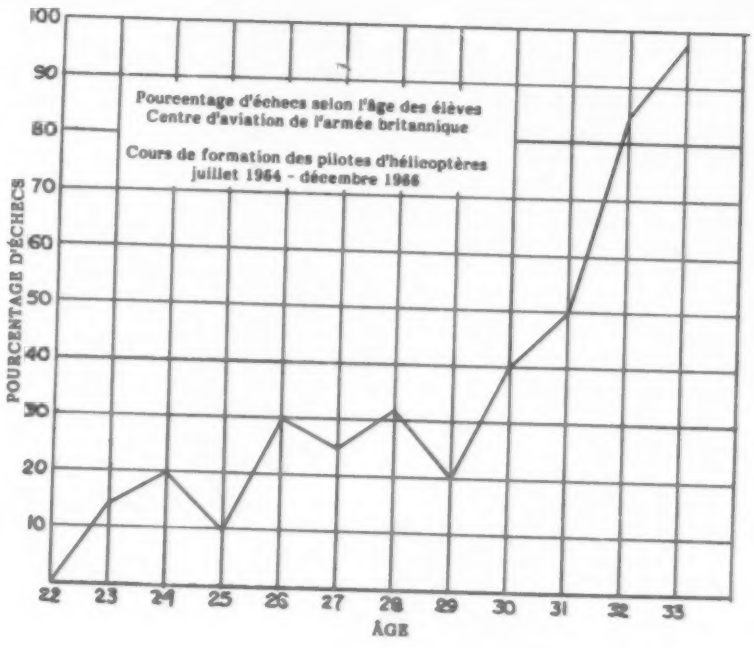


Fig. 8-1

Comme exemple des études menées sur les élèves-pilotes d'hélicoptères on peut citer l'expérience réalisée dans les Forces armées canadiennes où ces élèves sont sélectionnés après avoir été brevetés sur avion. Après une semaine de formation théorique les élèves recevaient, jusqu'en 1972, 56 heures d'instruction sur CH112 Hiller "Nomad". Ils étaient en général capables de partir en solo après environ 13 heures de vol. Les résultats obtenus au Canada ont été bien meilleurs que ceux dont fait état la figure 8-1, probablement parce que les pilotes avaient déjà de l'expérience. En fait, l'auteur n'a constaté que deux échecs au cours des quatre années pendant lesquelles il a été médecin militaire. Ce qui se passera lorsque le nouveau programme de formation sera institué est du domaine de la conjecture. Schématiquement, ce nouveau programme se présente comme suit:

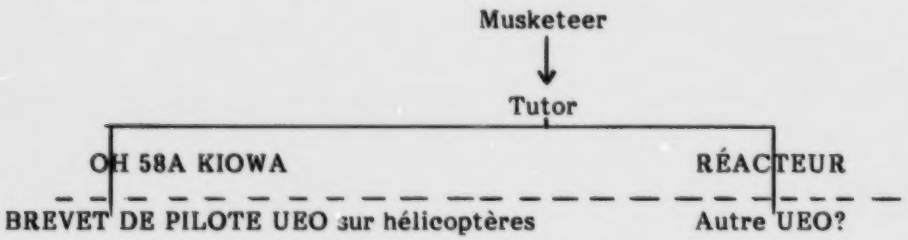


Fig. 8-2

Une conséquence possible est le changement de la relation entre élève et instructeur. Les pilotes ne seront pas complètement qualifiés et l'escadron d'hélicoptères sera chargé d'assurer le perfectionnement du personnel. De plus, l'élève et l'instructeur sont séparés sur "Kiowa", si bien que leurs rapports sont plus impersonnels. Par contre, le "Kiowa" présente l'avantage d'être équipé d'un moteur à turbine, si bien qu'il n'y a pratiquement pas à toucher au régime et que l'appareil se pilote plus facilement.

Il est intéressant d'observer les élèves pendant les diverses phases de leur instruction. Au début, ils peuvent éprouver une certaine amertume et s'irriter pour n'avoir pas été admis en stage de formation sur chasseurs à réaction et se voir attribuer un rôle apparemment plus quelconque. Après un vol d'accoutumance et le cours au sol, ils sont plus enthousiastes. Pourtant, après quelques vols en hélicoptère l'élève entretient un sentiment de frustration et il est en proie à une légère dépression jusqu'au lâcher en solo. Avant le solo, il se désespère souvent de son inaptitude à maîtriser l'appareil, ce qui se manifeste souvent par un comportement dépressif et un sentiment de démasculinisation. Ces sentiments se remarquent particulièrement chez les pilotes de chasse plus âgés, plus expérimentés, qui cherchent un refuge ou une raison d'être dans la boisson ou les prouesses sexuelles. À ce stade, le simple fait d'être rassuré par l'instructeur et de prendre confiance en constatant que les autres stagiaires éprouvent les mêmes problèmes constitue souvent le meilleur remède. La plupart de ces problèmes proviennent de la difficulté de prise en main de la machine mais quelquefois il s'agit d'un manque manifeste de dispositions pour passer du pilotage des appareils à voilure fixe à celui des appareils à voilure tournante. Le pilote d'avions possède une certaine notion de l'utilisation des commandes, ainsi que le sens de l'air, mais la transformation sur hélicoptères ressemble presque toujours à

la formation d'un débutant. L'expérience acquise sur avions semble faire très peu de différence car presque tout le monde commet les mêmes erreurs, dont beaucoup peuvent paraître tout à fait insensées. C'est une nouvelle sorte de sens de l'air et de jugement qu'il faut acquérir et beaucoup de vieilles règles familières, comme arrondir au-dessus de la piste, doivent être oubliées. Une certaine période d'adaptation peut être nécessaire car dans une situation délicate même le pilote à l'esprit le plus prompt peut réagir selon la méthode qu'il avait précédemment apprise. C'est là un fait évident quand un élève tente d'émettre avec le bouton du démarreur (qui est placé sur le levier de pas général) ou d'arrondir au cours d'un simulacre d'atterrissage forcé ou d'un atterrissage roulé, faisant heurter le sol au rotor de queue qui se brise sous le choc. La plupart des écoles de pilotage d'hélicoptères ont adopté une règle selon laquelle aucun élève ne devra piloter un avion, pour quelque raison que ce soit, pendant la période qu'il consacre laborieusement à essayer de devenir un pilote d'hélicoptère.

L'élaboration du jugement, pour donner un exemple des difficultés de l'élève, occasionne souvent une vive anxiété au cours de situations telles que la stabilisation en vol stationnaire. En vue de cette manoeuvre, l'appareil est amené en parcours de base avec une certaine vitesse propre et un certain régime. En approche finale, alors qu'il arrive à 300 pieds au-dessus du sol et qu'il a bien visualisé son repère, le pilote s'efforce ensuite de maintenir le cadrage de ce repère en agissant sur le pas général et il diminue sa vitesse de façon qu'elle soit en apparence constante au-dessus du sol, jusqu'à ce qu'il se trouve en vol stationnaire sur le point choisi ou qu'il ait touché le sol sans faire de transition en stationnaire. Pour acquérir, une technique satisfaisante, il faut en outre un jugement et une coordination d'une qualité extraordinaire. Beaucoup d'élèves deviennent très tendus pendant l'approche et ils se crispent dans la crainte d'un décrochage qu'ils perçoivent comme inévitable au moment où la vitesse diminue. Naturellement, rien de semblable ne se produit. En fait, pendant certains des stades ultérieurs de la transition, l'appareil se trouverait effectivement près de la "zone de mort", voire dedans, si une panne de moteur se produisait.

Une autre période d'anxiété et d'appréhension considérables est celle pendant laquelle l'élève apprend les atterrissages en autorotation, surtout dans les virages, parce que les choses se déroulent rapidement. De plus, une petite erreur de jugement pendant une autorotation jusqu'au sol pourrait aboutir à un accident grave. En évolution au-dessus d'une aire encombrée, la proximité des obstacles rend également l'élève extrêmement craintif. Tout d'abord, le secteur choisi par l'instructeur ne semble pas plus étendu qu'un terrain de balle au panier et tant que l'élève n'a pas appris à apprécier l'encombrement du disque du rotor et pris confiance en son aptitude à maintenir son hélicoptère au-dessus du point, il peut redouter les exercices qui l'amènent à proximité des obstacles.

Les élèves ne sont pas autorisés à effectuer en solo des atterrissages en autorotation; ils doivent être accompagnés d'un instructeur. Il importe de disposer d'une surface suffisante pour pratiquer les exercices d'atterrissage en autorotation, de façon que pendant les premiers exercices l'élève n'ait pas, au moins jusqu'à ce qu'il se sente capable de réussir la manoeuvre, à concentrer son attention sur la précision. De plus, il est également important que les hélicoptères soient suffisamment espacés, la proximité d'autres appareils pouvant amener l'élève à détourner son attention de sa tâche essentielle. Une autre cause de frustration pour l'élève tient à ce que les conditions météorologiques varient d'un jour à l'autre. L'élève peut éprouver un

certain sentiment de confusion et de frustration pour n'avoir pas bien réussi une manoeuvre du fait d'un changement de vent, alors qu'il est considéré comme ayant son appareil bien en main. En outre, des conditions éloignées de l'idéal peuvent se traduire par de longues attentes entre les vols ou une suppression totale de l'instruction pendant des jours, ce qui est regrettable dans le cas du pilotage d'appareils à voilure fixe. Chaque retard impose à l'élève un surcroît de temps de vol pour regagner le niveau de compétence auquel il était parvenu lors de la précédente séance. Ce genre d'éventualités peut avoir beaucoup d'influence sur le moral de l'élève, ce que reflète souvent sa difficulté à maîtriser les techniques du pilotage.

À propos d'instruction, il conviendrait de donner certaines précisions supplémentaires quant aux temps de vol quotidien. D'après l'expérience de l'auteur, qui a évoqué cette question avec de nombreux élèves, il n'est pas profitable d'effectuer plus de deux séances par jour tant qu'on n'a pas atteint 25 heures de vol. Après deux séances la faculté d'apprendre s'émousse et même la qualité du pilotage se ressent de la fatigue. On n'aboutit qu'à frustrer à la fois l'élève et l'instructeur dont le comportement et le moral sont mis à l'épreuve. Parfois, quand par exemple le stage a été interrompu du fait du mauvais temps, ces maximums sont dépassés et le moral en souffre. À deux reprises, pour citer un cas précis à ce sujet, l'auteur a effectué plus de quatre heures par jour (il en a fait cinq et demie une fois). En fin de journée, il était si fatigué qu'il allait se coucher sans souper. D'autre part, les vols de navigation sur campagne sont eux aussi très éprouvants, en partie à cause de la nécessité de faire de fréquentes escales. Il ne faut jamais oublier que le jugement d'un pilote décline à la fin d'un long voyage, d'où l'importance de lui laisser une période de repos avant qu'il puisse piloter avec précision et en sécurité. La fatigue se manifeste vite en vol, comme le confirment les expériences de Billings que relate le dernier chapitre.

Billings et son équipe, estimant que les variations de régime du rotor pourraient servir d'indice d'évaluation de la qualité du pilotage, ont mené une autre étude pour comparer ces variations de régime selon qu'elles étaient le fait des élèves ou celui de leurs instructeurs (3). Neuf sujets avaient reçu une formation de début sur hélicoptère; cinq d'entre eux étaient des pilotes privés inexpérimentés comptant moins de 100 heures de vol sur voilure fixe (en fait, deux de ceux-ci n'avaient jamais piloté) et quatre possédaient, sur voilure fixe également, une expérience de 300 à 5600 heures et de multiples qualifications. Sept autres stagiaires pilotes ont effectué 25 heures d'instruction chacun, dont 5 heures de vol en solo et les deux sujets sans expérience du pilotage ont totalisé 20 heures d'instruction. Les deux instructeurs avaient eux aussi des références professionnelles différentes, le premier ayant été pendant un an et demi instructeur en école de début dans l'armée des États-Unis tandis que le second, qui avait servi en Corée dans le corps de "Marines" et avait depuis lors piloté des hélicoptères de servitudes, n'avait que peu d'expérience de l'instruction. Billings supposait que le premier instructeur tiendrait son régime plus stable que le second pendant les manoeuvres effectuées pour les besoins de l'instruction. Effectivement le premier instructeur gardait un régime moteur et un régime rotor plus précis, sauf dans les autorotations comportant un changement de direction de 180 degrés. De la même façon, les élèves les moins expérimentés pilotaient avec des variations de régime sensiblement plus importantes que leurs instructeurs mais les plus expérimentés obtenaient à peu près les mêmes résultats que ces derniers, sauf dans les ressources-arrêts (quick stops). Toutefois, on a constaté pendant l'instruction en double commande que dans une manoeuvre quelconque, hormis le roulage, aucun élève de ces groupes ne pouvait tenir son régime avec autant

de précision que son instructeur. On en a donc conclu que dans la phase double commande de l'instruction en vol le pilotage des élèves présentait plus de variations de régime que celui des instructeurs mais, vers la fin du stage de formation, les élèves expérimentés réussissaient à peu près aussi bien que ceux-ci, sauf dans les ressources-arrêts. On supposait en outre que les variations de régime rotor dépendraient de la difficulté de la manoeuvre. C'est ce que l'expérience a effectivement révélé, quoique de façon moins évidente que prévu. Une différence dans les variations de régime rotor s'est également manifestée dans les autorotations: celles qui ont été exécutées en ligne droite ont été caractérisées par une tenue du régime plus précise que celles qui comportaient un changement de direction de 180 degrés. Lorsque l'instructeur réduisait la puissance sans prévenir, les variations de régime étaient plus importantes du fait d'une diminution presque invariable du régime rotor avant abaissement du levier de pas général.

Billings avait en outre supposé que l'ampleur des variations de régime diminuerait au fur et à mesure que les élèves amélioreraient la qualité de leur pilotage en progressant dans leur instruction. D'une manière générale, cette hypothèse s'est révélée exacte. Il y a naturellement eu des exceptions, apparemment selon l'expérience de chaque élève. L'une d'elles est celle d'un pilote privé sans expérience qui, en dépit de progrès satisfaisants pendant son stage sur avions, avait échoué à sa première épreuve de pilote privé pour s'être perdu à moins de deux milles de l'aérodrome où il avait été formé. Pendant son stage sur hélicoptères il avait commencé tôt à progresser jusqu'à un niveau relativement élevé mais ses résultats devenaient moins satisfaisants au fur et à mesure qu'il se rapprochait du contrôle en vol avant lâcher en solo et de l'épreuve de pilotage de la FAA. Il était extrêmement tendu avant de subir cette épreuve et ses résultats, bien qu'il ait réussi, ont été médiocres. L'analyse des données relatives à cette épreuve montre que sa coordination et sa tenue de régime étaient mauvaises, ses mouvements brusques et désordonnés, son rythme cardiaque très rapide.

L'autre sujet, un des élèves débutants, a progressé pendant toute sa formation de façon désordonnée, constituant une exception en fait de progression. Alors qu'il avait pu faire un bref vol en solo après 17 heures de double commande, il n'aurait pu, de l'avis de son instructeur, satisfaire aux exigences que l'armée fixe pour l'instruction de début sur hélicoptères. Ces deux cas illustrent l'efficacité du recours à l'avion comme moyen de sélection avant le début de l'instruction sur hélicoptères, tout comme ils révèlent l'importance, pour l'élève, d'être mentalement et physiquement détendu.

Au cours de la même expérience, le rythme cardiaque des neuf élèves a été contrôlé par télémétrie. Des électrocardiogrammes ont été pris du sol avant, pendant et après les séances d'instruction en vol. Billings a noté qu'après le vol le rythme cardiaque était en général plus rapide qu'avant. Au sol, il tendait à augmenter pendant la période d'accumulation des 20 à 25 heures d'instruction pratique. Cette tendance a également été observée pendant les vols en double commande, que les commandes soient tenues par un instructeur ou par un élève. À l'inverse, le rythme cardiaque de la plupart des élèves tendait à diminuer pendant les vols en solo. Chez 8 ou 9 sujets, c'est au cours des examens en vol que les rythmes cardiaques des élèves ont été les plus rapides. Billings et son groupe en ont conclu que ces tendances constituaient un indice d'une augmentation modérée et séquentielle de tension psychologique. L'exception, en fait d'augmentation séquentielle, était le vol en solo. On a pensé que ces tendances pouvaient refléter le fait que le rôle d'évaluateur lié à la fonction

d'instructeur contribuait à la tension de l'élève. L'auteur de ces lignes pense toutefois que, bien que cela puisse être exact, le genre de vol pratiqué par un élève en solo peut expliquer que le rythme cardiaque soit moins rapide. Pour illustrer ce fait, précisons que les élèves ne sont pas autorisés à effectuer des atterrissages en autorotation, ou d'autres manoeuvres dont le niveau de difficulté se situe à la limite de leurs moyens. Ce qui signifierait que l'élève ne s'attend pas à devoir exécuter une manoeuvre qui l'effraie, d'où le fait qu'il soit plus détendu en solo. On peut vraiment regretter que les rythmes cardiaques des instructeurs n'aient pas été contrôlés au cours de cette expérience, ce qui aurait pu donner des indications sur l'ensemble du groupe.

L'instructeur sur hélicoptères

En raison de l'impossibilité totale de prévoir le comportement de l'élève, en raison aussi de l'altitude d'évolution et de l'étroitesse excessive de la marge d'erreur, le pilote-instructeur d'hélicoptères ne peut jamais être détendu. Il doit constamment suivre aux commandes, se tenir prêt à reprendre promptement celles-ci et à contrer chacune des nombreuses erreurs que son élève peut commettre. Même en fin de stage, un élève qui s'est montré sûr au point d'être un sujet exceptionnel peut soudain, sans que rien ne le laisse prévoir, faire une erreur manifeste, grossière, par exemple augmenter la puissance après avoir abaissé le levier de pas général au cours d'un simulacre d'atterrissage forcé, ce qui peut faire de la casse et ce que l'instructeur peut interpréter comme une véritable tentative d'homicide. Si quelque chose va mal, on peut n'avoir ni assez de temps pour rétablir la situation ni la possibilité de s'échapper de l'appareil. Selon l'auteur, le travail d'instructeur sur hélicoptères est probablement la spécialité la plus contraignante du pilotage et, quoique la formidable tension qu'elle occasionne produise des effets différents sur chaque individu, les instructeurs semblent passer par plusieurs stades plus ou moins distincts au cours de leurs carrières:

1. <u>Engouement initial</u>

   Il se manifeste habituellement quand l'instructeur prend ses premiers élèves. Il vient de terminer son stage d'instructeur et brûle de se servir de sa science toute fraîche voulant, tel Dédale avec Icare, montrer ses talents aux élèves. Pendant sa première leçon, il ressent habituellement une certaine anxiété, une certaine crispation, mais il se détend progressivement, dans l'ignorance béate des acrobaties originales que son élève peut inventer.

2. <u>Apparition de l'anxiété</u>

   Le second stade débute généralement au cours de la seconde ou de la troisième leçon. L'instructeur découvre alors les risques du métier et il se met généralement à suivre les commandes de très près, se montrant parfois timoré. Les conflits internes qui découlent d'une situation l'amenant à friser et à éviter constamment le danger se font jour de diverses façons, souvent sous forme de malaise psychosomatique, de recours excessif à la boisson, d'extrême fatigabilité et d'irritabilité. Les épouses ont souvent fait des remarques sur la manière dont les personnalités de leur mari ont changé pendant cette phase: "Il n'est plus le garçon détendu, insouciant qu'il était. Maintenant, il rentre à la maison, mange sans dire un mot, puis va se coucher. S'il parle, c'est pour dire des choses désagréables. "Ces paroles sont celles de la femme d'un pilote-

instructeur de 36 ans qui totalise environ 6000 heures de vol, dont à peu près 1000 sur hélicoptères. Les instructeurs eux-mêmes commentent parfois rétrospectivement leurs attitudes. Des tendances paranoïdes avec hostilité manifeste à l'égard de leurs élèves peuvent se manifester dans les cas extrêmes.

3. Acceptation du risque

Le troisième stade, qui commence généralement après plusieurs cours, est une résolution de conflit par divers mécanismes de défense. L'instructeur sait alors plus ou moins à quoi il doit s'attendre et il s'est remis des nombreuses fois où il l'a échappé belle. Devenu prudent, mais sans excès, il est maintenant un bon instructeur.

4. Rupture des mécanismes de défense

Elle se produit généralement après plusieurs années d'instruction, mais parfois après deux ans seulement. Les mécanismes de défense qui fonctionnaient bien auparavant ont, pour une raison ou pour une autre, cessé de faire effet. L'anxiété se révèle ouvertement de diverses façons: prolongement de la durée des visites prévol et des vérifications de sécurité, rabâchage des procédures d'urgence, comportement craintif aux commandes et dans la façon d'enseigner, des récriminations à propos de l'état d'un hélicoptère en particulier ou de la sécurité du type d'hélicoptère utilisé en général. Des désordres physiologiques, des difficultés familiales, peuvent également se produire. Souvent, il y a des périodes pendant lesquelles l'instructeur revient au stade de l'acceptation du risque, mais elles se font plus rares et durent moins longtemps. À ce stade, on peut douter de la valeur du pilote en tant qu'instructeur, mais il peut être bon comme pilote d'essai ou d'inspection, ou à un poste d'encadrement, ou encore dans le personnel non navigant d'une école de pilotage d'hélicoptères.

L'auteur a, pendant une période de quatre ans, observé et enregistré des tendances pathologiques chez plusieurs individus, en particulier pendant les phases qui précèdent un lâcher en solo et, dans certains cas, vers la fin des stages. Le pire moment d'un cours, en fait de révélation d'une anxiété manifeste, se situe probablement pendant la phase d'étude des atterrissages en autorotation. Les tendances suivantes ont été observées:

1. Plus grande fréquence à se déclarer malade.

2. Formulations de plaintes qui sont généralement de deux sortes:

   (a) pathologie liée à la tension, par exemple symptômes de gastrite récurrente, de l'ulcère simple de l'estomac, des infections chroniques du système respiratoire supérieur, de la bronchite;

   (b) indispositions vagues sans indices pathologiques évidents, par exemple faiblesse, fatigue, malaise, amaigrissement, état dépressif et anxiété.

L'augmentation de la fréquence des consultations médicales tendait à se poursuivre pendant les phases initiales des second et troisième cours, notamment peu avant les lâchers en solo, alors que les instructeurs faisaient quatre vols par jour (par exemple

deux avec chaque élève). Les instructeurs qui présentaient un état pathologique patent devaient habituellement être suspendus de vol pendant une courte période, tandis que ceux qui se plaignaient de vagues malaises étaient généralement traités avec succès au moyen de placebos comme les vitamines, et par psychothérapie de soutien. Bien que le diagnostic fût celui d'une réaction probable d'anxiété, des examens ont été effectués et les pilotes ont été réassurés. Si l'on disait à un pilote que ses malaises étaient dus à l'anxiété, il le contestait rarement et acquiesçait toujours quand on l'interrogeait par la suite. De la même façon, si un pilote devait être suspendu de vol, il feignait parfois la déception mais semblait souvent soulagé de ne pas avoir à prendre part aux activités aériennes pendant quelques jours.

Deux cas typiques sont donnés en exemple:

Cas n° 1 — Un capitaine de 35 ans totalisant 1100 heures sur CH 112, pour la plupart effectuées en missions de reconnaissance en Europe, a rejoint l'escadron à la suite de son stage d'instructeur. Pendant son premier cours, après trois semaines au cours desquelles des atterrissages forcés furent effectués en très grand nombre, il contracta une grippe suivie d'une infection du système respiratoire supérieur et fut suspendu de vol. Quand il eut repris ses activités aériennes l'un de ses élèves abaissa par erreur le levier de pas général pendant un simulacre d'atterrissage forcé après mise en vol stationnaire et l'appareil subit de légères avaries. Ce pilote souffrit alors d'insomnie et contracta, avec une infection du système respiratoire supérieure, une bronchite chronique. Il remarqua qu'il était insomniaque à l'époque des phases délicates du vol, par exemple quand on pratiquait les atterrissages en autorotation. Après le second cours, sa maladie lui laissa plus de répit, puis disparut progressivement. Il s'agit d'un exemple de pathologie d'un sujet soumis à une tension psychologique traité d'après les symptômes du moment, qui ont disparu spontanément grâce à l'expérience.

Cas n° 2 — Un instructeur, également vers le milieu de la trentaine, se rendit en consultation médicale pendant son second cours. Il se plaignait surtout de la fatigue, de l'impossibilité de récupérer par le sommeil, et de la morosité. Il fut examiné et soumis à des examens de laboratoire. Rien de pathologique ne fut révélé. Le sujet fut traité par les vitamines et l'on constata une certaine amélioration de son état.

Après plusieurs mois, il reconnut spontanément que ses symptômes étaient probablement dus à l'angoisse. L'auteur s'est livré à une étude préliminaire montrant que, sur appareils à voilure tournante, les instructeurs étaient beaucoup plus tendus que sur appareils à voilure fixe. Un questionnaire conçu pour permettre d'obtenir certaines indications sur l'acuité de cette tension a été remis à des instructeurs exerçant sur hélicoptères, à des instructeurs exerçant sur avions, et aux membres d'un groupe témoin. Le questionnaire contenait 60 questions relatives aux divers aspects de la vie d'un pilote et plusieurs de ces questions appelaient des réponses propres à déceler la tension psychologique. Elles exploraient des domaines tels que la satisfaction procurée par son logement, les habitudes de consommation d'alcool, la satisfaction due au travail, l'inquiétude ressentie du fait des risques du métier, etc. Bien qu'une analyse statistique détaillée n'ait pas été effectuée, on a l'impression - et c'est la conclusion à tirer en réalité - que les instructeurs d'hélicoptères tendaient générale-

ment à être moins satisfaits et moins heureux que les instructeurs d'avions. Quatre-vingt-douze pour cent des instructeurs travaillant sur appareils à voilures tournantes estimaient que leur travail était plus dangereux que le transport aérien, le survol des étendues maritimes, l'instruction sur avions ou l'aviation de chasse, alors que 8 % seulement considéraient que celle-ci était plus dangereuse. À l'inverse, 20 % seulement des instructeurs travaillant sur avions ont déclaré que leur spécialité était plus dangereuse que celle d'instructeur sur hélicoptères. Il est intéressant de noter que les opinions des élèves-pilotes d'hélicoptères balançaient aussi entre l'instruction sur appareil à voilure tournante et l'aviation de chasse, quoique 11 % choisirent l'instruction sur appareil à voilure fixe comme l'activité la plus dangereuse. Ceux d'entre eux qui considèrent "la chasse" comme étant plus dangereuse totalisaient moins de 500 heures de vol et l'on peut supposer que leur travail ne pose pas de problème de navigation. Ces observations montrent que plus on vole sur appareil à voilure tournante, plus il apparaît comme dangereux.

Il est bien connu en psychologie expérimentale que l'habitude de boire peut être directement liée à la tension psychologique qu'une personne éprouve dans les diverses circonstances de son existence. C'est pourquoi l'auteur s'est livré à une seconde étude pour laquelle il a été demandé aux candidats d'indiquer anonymement la quantité d'alcool qu'ils avaient absorbé chaque jour pendant la semaine. On a découvert que la consommation alcoolique des pilotes-instructeurs d'hélicoptères était d'environ 50 % supérieure à celle des pilotes-instructeurs d'avions formant des débutants. On pourrait objecter que ce fait résulte en partie de la répartition selon l'âge des pilotes-instructeurs d'hélicoptères, qui sont plus âgés, mais le graphique de la figure 8.2 montre que la consommation estimée d'alcool par groupes d'âge dément cet argument et montre que si la quantité d'alcool ingérée peut être effectivement liée aux tensions psychologiques, l'instruction donnée sur aéronefs à voilures tournantes est donc indiscutablement plus éprouvante que sur aéronefs à voilures fixes. Le graphique de la figure 8.3 montre la répartition selon l'âge des instructeurs examinés dans chacune des deux spécialités. L'augmentation de consommation notée chez les instructeurs de pilotes d'avions du groupe le plus ancien résulte probablement de la frustration éprouvée pour être restés affectés à la formation à cet âge.

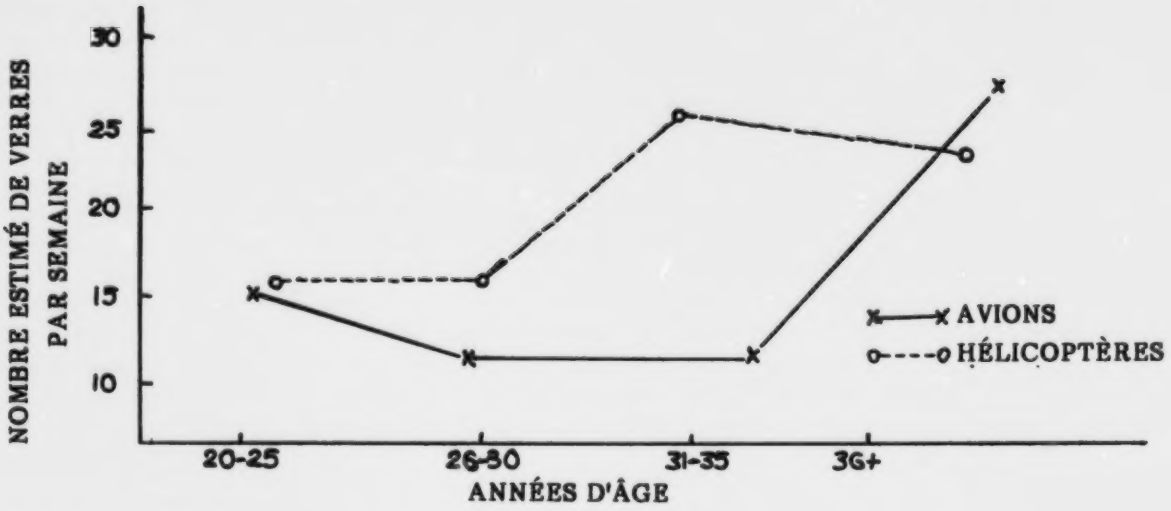

NOMBRE ESTIMÉ DE VERRES PAR SEMAINE
30
25
20
15
10
20-25
26-30
31-35
36+
ANNÉES D'ÂGE
AVIONS
HÉLICOPTÈRES

Fig. 8-3

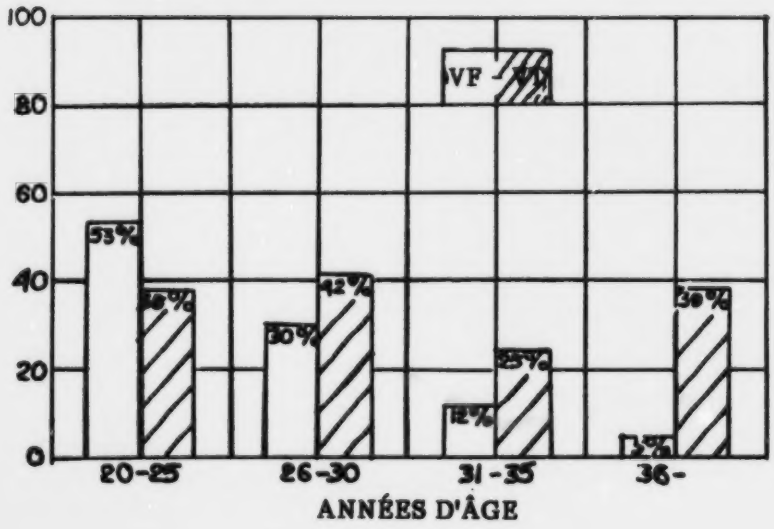

100
80
60
40
20
0
VF
53%
38%
30%
42%
12%
25%
3%
36%
20-25
26-30
31-35
36-
ANNÉES D'ÂGE

Fig. 8-4

Outre les constatations qui précèdent, ajoutons que les instructeurs d'hélicoptères tendaient à être moins satisfaits de leurs logements, de leurs perspectives de carrière, etc. Supposons que cette insatisfaction peut être partiellement liée à la tension et aux changements de personnalité des instructeurs, on peut conclure que le fait d'enseigner le pilotage des hélicoptères est une activité très contraignante. C'est pourquoi le pilote devrait être surveillé attentivement aussi bien par le médecin militaire que par le commandement de l'école, afin que soient décelés les signes de fatigue qui peuvent altérer la qualité du pilotage, le nombre d'heures de vol devant être diminué au besoin. On suggère également qu'un mode d'affectation des élèves soit modifié le cas échéant. L'instructeur pourrait prendre deux élèves en charge à l'occasion de son premier cours, mais un seul élève au second cours, de façon à diminuer pendant cette période une anxiété qui semble atteindre son acuité maximale précisément pendant ce second cours. Pour tout instructeur, les élèves sur le point d'être lâchés en solo constituent une lourde responsabilité.

Syndrome de décompensation des pilotes et phobie du vol

Comme on l'a précédemment indiqué, la phobie du vol et le syndrome de décompensation des pilotes ne sont pas infréquents chez les pilotes d'hélicoptères, en particulier chez les instructeurs. Les pilotes d'hélicoptères ne sont pas les seuls à les éprouver et l'on peut trouver dans d'autres spécialités de l'aviation des cas où l'apparition de ces phénomènes est plus ou moins liée à l'importance du risque.

Puisque le fait de voler n'est pas naturel pour l'homme, on ne devrait pas considérer comme anormal le fait que celui-ci éprouve de l'appréhension envers l'idée de voler (réf. 46). Pour pouvoir voler l'homme doit s'adapter selon un processus dans lequel la motivation compense l'appréhension. L'une des causes fondamentales de celle-ci est la perspective d'être mutilé, une autre, très précoce, étant la crainte de l'altitude.

L'anxiété doit être dominée et le vol accepté. C'est ce que Llosa-Rojas a appelé le syndrome de compensation des pilotes, définissant celui-ci comme la personnalité qu'un individu doit acquérir pour surmonter son instinct de conservation par un processus de compensation permettant de neutraliser l'anxiété. Ce résultat s'obtient par la technique, l'entraînement et l'acceptation réelle, intellectuellement, d'activités pour lesquelles l'homme n'était pas fait et qu'il en vient à considérer comme normales.

Le phénomène de compensation peut aboutir à un déséquilibre dans lequel l'instinct de conservation prend le dessus. Il s'ensuit alors une réaction de décompensation qui est considérée comme anormale mais naturelle et non pathologique. C'est ce qu'on appelle le syndrome de décompensation des pilotes qui est défini comme un déséquilibre du phénomène de compensation au cours duquel les pulsions instinctives prennent le dessus à cause de contraintes extérieures, la crainte ressentie provenant d'un risque réel. Le syndrome de décompensation peut être primaire ou secondaire. Dans le premier cas, une réaction primaire se produit chez les individus qui n'ont pas d'expérience du vol mais qui se sont faits à l'idée de voler. Ces individus éprouvent en vol une réaction de crainte. Le syndrome secondaire de décompensation se produit chez les individus qui s'étaient antérieurement bien adaptés aux conditions réelles du vol. Quand ils sont soumis par leur milieu à une tension contraignante, celle-ci donne

lieu à une décompensation qui se traduit par la crainte du vol. En fait, il peut s'agir là d'une diminution de l'efficacité des mécanismes de défense, ce qui peut correspondre à une intériorisation plus développée des dangers liés à l'activité aérienne.

Il y a des différences entre le syndrome de décompensation des pilotes et la névrose phobique.

Ces différences sont essentiellement les suivantes:

1. Le syndrome de décompensation des pilotes se produit chez les individus dont la prédisposition aux névroses est faible ou nulle, alors que la névrose phobique est caractéristique des personnalités anxieuses.

2. Le syndrome de décompensation des pilotes est, à son stade prémorbide, caractérisé par le syndrome de compensation, tandis que la névrose phobique l'est par les mécanismes de défense liés au mouvement et à sa symbolique.

3. Dans le cas du syndrome de décompensation des pilotes, l'individu réagit face à un risque réel, tandis que dans la névrose phobique il réagit dans une situation qui ne comporte pas de danger réel.

4. Dans le syndrome de décompensation des pilotes, l'individu est bien conscient du risque qui détermine son malaise, alors que dans la névrose phobique l'individu admet que sa crainte est absurde mais il est incapable de se dominer en présence de l'objet ou de la situation redoutés.

5. Dans le syndrome de décompensation des pilotes, la réaction est anormale sans être l'indice d'un état psychopathologique alors que dans la névrose phobique la réaction indique effectivement un état psychopathologique.

6. Une personne sujette au syndrome de décompensation des pilotes ne devrait pas être considérée comme malade alors qu'une personne affligée de névrose phobique est considérée comme telle et nécessite un traitement.

Selon cette étude, la phobie du vol comporte les cinq phases suivantes:

1. réaction instinctive naturelle;

2. syndrome primaire de décompensation des pilotes;

3. syndrome secondaire de décompensation des pilotes;

4. névrose phobique;

5. psychose avec phobie du vol.

L'auteur, avec l'expérience qu'il a acquise de la surveillance médicale des membres des équipages de conduite et des enquêtes sur les accidents, a observé de nombreux cas de syndrome de décompensation des pilotes et de phobie du vol. C'était habituellement le résultat de la rupture des mécanismes de défense par suite des tensions psychologiques liées au milieu, et des tensions consécutives aux accidents dont leurs collègues avaient été victimes lorsque, dans les dernières années de la carrière d'un pilote, il était plus difficile pour celui-ci d'expliquer rationnellement les

faits, les pilotes semblant d'autre part devenir alors plus conscients des risques réels de leur métier. La phobie du vol qui finissait par se produire se manifestait de cinq différentes façons principales.

1. Développement d'une maladie psychosomatique

Les maladies dues aux contraintes psychologiques telles que l'hypertension, l'ulcère simple de l'estomac et le début des diabètes, commençaient à affecter ces individus. De plus, ainsi que nous l'avons indiqué précédemment, les habitudes de consommation alcoolique se modifiaient, le sujet buvant davantage. Souvent liés à des cas de vols contraignants, par exemple la pratique des atterrissages en autorotation, ces sympômes tendaient à disparaître lorsque le pilote cessait d'en pratiquer. Comme nous l'avons indiqué précédemment, les affections non caractérisées, telles que les malaises et les infections du système respiratoire supérieur, étaient fréquentes chez ces individus.

2. Abandon de l'activité aérienne

De nombreux pilotes qui commençaient à ressentir le syndrome de décompensation ont abandonné le pilotage, invoquant de vagues prétextes comme le fait de ne pas aimer travailler pendant de longues heures dans la solitude. Dans le secteur civil, l'abandon du pilotage tend à se produire à un âge relativement précoce.

3. Névrose obsessionnelle

Certains pilotes, lorsqu'ils éprouvent les premiers signes du syndrome de décompensation, tendaient manifestement à devenir obsédés par certains aspects de la sécurité. Poussé à l'extrême, ce comportement rappelle le cas du sujet obnubilé, pour qui chaque arbre cache la forêt. J'ai, par exemple, observé un pilote qui sortait trois fois pour effectuer la visite prévol d'un hélicoptère et qui, ensuite, faisait une chose aussi absurde que l'est un décollage dans la pluie verglaçante. Au travail, une névrose obsessionnelle est évidemment dangereuse.

À la suite d'un accident, les pilotes devenaient parfois hantés par la sécurité. Un exemple: après un accident qui s'était produit dans l'armée et dont la cause n'avait d'abord pas été déterminée, on avait posé une affiche pour faire connaître les particularités de l'appareil en cause. Cette affiche, qui comportait une photographie de cet appareil, indiquait que la cellule de ce dernier avait effectué plus de 10 000 heures de vol sans accident. Au lieu de donner aux pilotes plus de confiance en la machine, but qu'on lui avait assigné, l'affiche tendait en réalité à ajouter à leur angoisse.

4. Mécanisme de défense contre les phobies

Assez fréquemment, les pilotes que commencent à affecter le syndrome de décompensation ou de phobie du vol, développent un mécanisme de défense contre cette phobie. Considérant leur métier comme très viril,

les pilotes croient devoir soigner leur image en conséquence, et le fait de perdre son sang-froid n'est pas particulièrement ce qui convient à cet effet. C'est pourquoi, subconsciemment ou consciemment, ils se placent dans des situations redoutables. Certains pilotes, par exemple, mettent parfois leurs nerfs à l'épreuve en affrontant des situations météorologiques dangereuses justement parce qu'ils se mettent à craindre les pièges de l'atmosphère. C'est ce qui peut expliquer le genre de situation dangereuse dans laquelle un pilote très expérimenté se place pour faire quelque chose qu'on n'attendrait normalement pas de sa part.

5. Certains pilotes peuvent rechercher une thérapie

Il est tragique de perdre un pilote alors qu'une thérapie pratiquée par une personne formée et expérimentée aurait pu faciliter les choses et permettre à ce pilote de revoler sans angoisse ni névrose. Il existe dans les Forces aériennes britanniques, par exemple, un programme auquel des psychiatres participent directement avec le pilote concerné, d'abord en l'interrogeant au sujet des situations qui l'angoissent, ensuite en volant avec lui pour affronter le même genre de situation. Le succès de ce programme a été remarquable.

Une situation qui peut être dangereuse est celle qui se produit à l'occasion chez des sujets qui passent de la phase qu'on pourrait appeler "pilote qui en veut" à la phase "conducteur d'avion", dans laquelle un pilote peut se percevoir comme ayant les nerfs ébranlés, devenant ainsi sujet à une angoisse excessive du fait de ce déclin apparent. Quand il fait l'expérience de ce genre de sentiments, un pilote les surmonte généralement s'il continue à voler. Un effort mental lui est parfois nécessaire pour se forcer à prendre place aux commandes mais, en retrouvant son milieu normal de navigant, il perd rapidement ses angoisses.

Traits de personnalité des pilotes civils d'hélicoptères

En 1980 une étude a été entreprise au moyen des tests PROBE et PRIME, mis au point par le Dr David Vinson, de l'Assessment Systems Inc., de Houston, pour tester les pilotes d'hélicoptères et d'avions, ainsi que les contrôleurs de la circulation aérienne, afin de se faire une idée des possibilités de ces tests comme moyen possible de sélection. Pendant l'année 1980, environ 80 élèves pilotes d'avions, 25 élèves pilotes d'hélicoptères et 60 contrôleurs de la circulation aérienne ont été testés.

Il s'avéra presque tout de suite apparent qu'il existait une différence entre les élèves pilotes d'hélicoptères et les autres pilotes testés. Il est possible, à la suite des tests, de produire un modèle analogique visuel appelé "Starr Plot" qui fait ressortir cinq traits de personnalité avec indication des fonctions mentales. Ces traits sont la vitesse d'assimilation, la vitesse de traitement de l'information, l'aptitude à s'évaluer, la conformité et la productivité. On a noté que les pilotes d'hélicoptères tendaient à

se situer bas en fait de conformité et de productivité. Les pilotes manifestaient un manque de confiance avec besoin de s'imposer aux autres. Ce type de personnalité peut aisément être influencé et un individu de ce genre peut être prédisposé aux accidents.

De plus, les pilotes avaient un très grand besoin de s'affirmer par des prouesses. En raison de la différence que présentaient les pilotes de ce groupe, on a décidé d'interroger chacun personnellement. À cet effet, on a mis au point un canevas d'entrevue permettant d'explorer les domaines suivants: 1) le passé du sujet; 2) ses mobiles, par exemple ce que le pilote pensait retirer du pilotage; 3) ce que le pilote en a effectivement retiré; 4) ses réactions face aux accidents.

Tous les pilotes, à l'exception de deux, ont manifesté le désir d'être indépendants et de se soustraire aux contraintes imposées par le contrôle de la circulation aérienne et les autres organismes. Ils avaient tous tendance à savoir prendre leurs décisions et tous, à l'exception de trois, avaient participé au lancement d'une petite entreprise personnelle, du genre creusement de piscines et autres travaux de nature comparable. Une autre caractéristique importante que l'on remarquait chez les sujets de ce groupe tient au fait que leurs activités aériennes étaient perçues très favorablement dans leurs familles, notamment par leurs pères. Tous les membres du groupe interrogés ont déclaré avoir des relations très étroites, dès l'âge tendre, avec ceux-ci.

Les deux exceptions à la règle étaient constituées par des élèves étrangers qui avaient obtenu de très bons résultats dans toutes les phases du test, celui de conformité compris. Ils étaient venus au Canada à leurs frais et voulaient y terminer leur entraînement avant de retourner dans leur pays d'origine où ils allaient piloter, le cas échéant en IFR, des hélicoptères servant aux liaisons avec les plates-formes de forage en mer. À cet égard, ils correspondaient parfaitement au profil indiqué dans le "Starr Plot", surtout en fait de conformité et de productivité. Ces deux élèves ont également obtenu les meilleures notes en fait de vitesse d'assimilation et de vitesse de traitement des informations, de même qu'ils ont brillamment réussi les examens écrits et les épreuves de pilotage d'hélicoptères.

Il a semblé y avoir une relation directe entre les résultats obtenus en fait de rapidité d'assimilation et les résultats des examens écrits.

Tous les pilotes testés ont obtenu des résultats satisfaisants quant à l'aptitude à s'évaluer, ce qui est bon dans la carrière qu'ils ont choisie et ce qui correspond très étroitement à leurs objectifs de productivité. Le seul domaine dans lequel tous les pilotes ont manqué de réalisme a été celui des possibilités de carrière d'un pilote d'hélicoptères. Ils étaient tous à peu près certains de pouvoir trouver du travail après obtention de leurs licences, estimant que leurs investissements de plusieurs milliers de dollars seraient rapidement payants, malgré le fait qu'au même moment un grand nombre de pilotes d'hélicoptères se trouvaient sur le marché et que certaines écoles admettaient que la moitié seulement de leurs anciens élèves trouvaient à se faire employer.

On continue à travailler à ces tests avec l'espoir qu'ils ne serviront pas seulement à donner une idée remarquable des fonctions mentales d'un individu mais aussi à contribuer à la prévision d'un succès ou d'un échec dans le processus d'assimilation du pilotage. De plus, il peut être possible de reconnaître les points particuliers sur lesquels la faiblesse d'un élève peut devenir évidente en cours d'entraînement, ce qui donne à l'instructeur une indication précoce des parties du programme de formation sur lesquelles il faudra insister.

CHAPITRE IX

"Plus encore que la mer, le ciel fait payer l'erreur humaine."

CAS D'URGENCE EN HÉLICOPTÈRES

On a déclaré bien souvent, depuis le début de l'histoire de l'aviation, que le ciel, plus encore que la mer, est sans pitié pour les défaillances de l'homme et de la machine. C'est particulièrement vrai pour l'hélicoptère que toute situation délicate peut mener à la catastrophe si des mesures appropriées ne sont pas prises et, en maintes occasions, même si elles le sont. On distingue pour les hélicoptères deux catégories principales de cas d'urgence: (1) ceux qui nécessitent des atterrissages de précaution, et (2) ceux qui nécessitent des atterrissages forcés. De toute évidence, les cas qui relèvent de la seconde catégorie sont plus graves et le nombre d'accidents auxquels ils donnent lieu est plus élevé. Dans cette catégorie, les cas d'urgence les plus graves sont ceux qui entraînent la perte ou l'avarie d'un organe essentiel, notamment:

1. la perte du rotor principal;
2. la panne de transmission;
3. la panne d'un moteur;
4. la panne d'embrayage;
5. la perte du rotor anti-couple;
6. le non-fonctionnement de la commande de pas du rotor arrière;
7. l'incendie.

La perte du rotor principal ou la panne de transmission provoque une chute inévitable alors que dans les autres cas d'urgence on peut maîtriser partiellement l'appareil au point de pouvoir se poser en sécurité.

Sur aéronef de toute catégorie, l'une des situations d'urgence les plus redoutables est l'incendie. Sur hélicoptères, on peut distinguer les incendies de moteurs, les incendies de fuselage et les incendies électriques. Dans le cas de ces derniers, les mesures à prendre sont des plus simples puisqu'il suffit habituellement de couper la batterie et les contacts généraux. Un type d'incendie électrique (ou, dans le pire des cas, une explosion) qui se produit dans les aéronefs modernes est "l'emballement thermique" des batteries au cadmium-nickel. En pareil cas, des températures formidables - assez élevées pour faire fondre la cloison pare-feu en aluminium et la batterie peut en réalité exploser - peuvent être atteintes. Les incendies de moteurs et de fuselage peuvent avoir ou non des conséquences désastreuses, ce qui dépend en particulier de leur emplacement et de leurs dimensions.

Afin d'indiquer avec assez d'avance une panne imminente de transmission, des voyants avertisseurs lumineux de pression et de température d'huile du boîtier de transmission ont été placés dans le circuit de graissage. Des détecteurs de copeaux, qui préviennent de la présence de particules métalliques dans l'huile, peuvent aussi être incorporés au mécanisme de transmission et, dans de nombreux cas, au moteur. Si un voyant lumineux de transmission ou de détection de copeaux s'allume, il y a lieu de descendre au moteur et d'atterrir aussi vite que possible.

Lorsque l'hélicoptère a fait son apparition, deux conceptions se sont opposées en ce qui concerne les altitudes de croisière. Certains pilotes préféraient voler bas en prévision d'une panne de transmission alors que d'autres préféraient plus haut en prévision d'une panne de moteur. À l'heure actuelle, chacune de ces sortes de pannes est relativement rare mais ces deux attitudes ont toujours leurs adeptes.

La panne du rotor de queue donne lieu à une imparable rotation de lacet dans le sens opposé à celui de la rotation du rotor principal. Tout ce que le pilote peut faire consiste à descendre immédiatement en autorotation. En cas de rupture des biellettes de commande de pas du rotor de queue, on conserve certains moyens de pilotage, et l'appareil peut habituellement être amené en sécurité au moteur jusqu'à une aire d'atterrissage, le lacet étant neutralisé à la manette des gaz et au levier de pas général.

En cas de panne totale du moteur, le moyen de se tirer d'affaire consiste à descendre en autorotation. Il en existe plusieurs sortes parmi lesquelles on choisit selon les conditions de vent, l'aspect de l'aire d'atterrissage et d'autres éléments d'appréciation.

1. Autorotation normale

   Pour amorcer une autorotation normale, abaisser immédiatement le levier de pas général, contrer la rotation de lacet en agissant sur la pédale et réduire la vitesse propre pour afficher la valeur préconisée sur le type d'hélicoptère dont il s'agit. Sur "Hiller", par exemple, la vitesse propre en autorotation est de 45 noeuds. À une hauteur d'environ 75 à 100 pieds au-dessus du sol, commencer l'arrondi afin de diminuer la vitesse propre et la vitesse de descente et de faire prendre des tours au rotor. Juste avant de toucher le sol amener l'appareil en palier et agir sur le levier de pas général pour amortir le choc à l'atterrissage.

2. Autorotation avec assiette constante

   Commencer cette autorotation de la même façon, mais avec une vitesse affichée réduite (sur "Hiller", prendre par exemple 35 noeuds) et conserver une assiette de palier jusqu'au sol. Autrement dit, le pilote ne fait pas d'arrondi. C'est la méthode la plus fréquemment utilisée de nuit, alors qu'il peut être difficile de voir le sol et les autres obstacles et de juger avec précision de la hauteur à laquelle un arrondi pourrait être commencé.

3. Autorotation en virage de 180 degrés

   On a recours à ce genre d'autorotation si l'hélicoptère se déplace vent arrière au moment de la panne de moteur. Commencer par une autorotation normale et incliner immédiatement l'appareil à gauche ou à droite afin d'effectuer un virage de 180 degrés avant l'arrondi. Pendant le virage, la force d'autorotation est plus importante à cause de l'augmentation de l'angle du vent relatif et il faut par conséquent conserver un peu de pas général pendant ce virage.

4. Autorotation avec virage de 360 degrés

Si l'aire d'atterrissage visée se trouve exactement au-dessous de l'appareil au moment de la panne, une autorotation avec virage de 360 degrés peut être effectuée pour permettre d'atteindre cette aire d'atterrissage. Sur les hélicoptères à moteur alternatif, une altitude d'au moins 1000 pieds est nécessaire pour qu'un virage de 360 degrés soit possible.

5. Autorotation à vitesse nulle

Si l'aire d'atterrissage visée se trouve juste en dessous de l'hélicoptère, et si celui-ci vole avec un vent debout relativement fort, on peut effectuer une autorotation à vitesse nulle. Commencer à cet effet par abaisser le levier de pas général, appuyer sur la pédale du côté opposé au mouvement de lacet et garder l'hélicoptère en cabré jusqu'à ce que l'anémomètre indique zéro. L'hélicoptère dérive alors vers l'arrière au-dessus de l'aire d'atterrissage. Quand il reste au moins 500 pieds d'altitude, augmenter la pente de descente de manière à prendre la vitesse voulue d'autorotation et la fin de celle-ci s'effectue normalement.

6. Autorotation avec augmentation de la distance franchissable

Sur la plupart des hélicoptères la distance franchie en plané peut être allongée en augmentant la vitesse autorotative et en maintenant suffisamment de pas général pour conserver un régime rotor minimal. À l'approche de l'aire d'atterrissage choisie, entamer progressivement un arrondi de façon à augmenter le régime rotor et à diminuer la vitesse. Dans sa phase finale, l'atterrissage s'effectue normalement.

7. Autorotation avec réduction de vitesse

Sur le "Kiowa" (OH58-A), qui est muni de pales à grande inertie, il est possible de réaliser un gain effectif d'altitude en diminuant la vitesse si une panne de moteur se produit en croisière.

Pour faciliter la compréhension des cas d'urgence auxquels un pilote d'hélicoptères doit pouvoir faire face, en précisant comment il lui faut procéder, la liste de vérification des manoeuvres à effectuer en cas d'urgence (celle du "Kiowa" OH58-A) est donnée en exemple, après le commentaire qui suit.

La liste de vérification peut être subdivisée grosso modo en cas d'urgence non critique et en cas d'urgence critique. Le pilote doit bien connaître la façon de réagir dans les cas d'urgence non critiques mais en raison de la nature de celles-ci il peut avoir le temps de consulter la liste de vérification. Par contre, les procédures à suivre en cas d'urgence critique doivent être mémorisées car la réaction du pilote doit être immédiate et précise. Il nous faut maintenant insister sur le fait que cette liste de vérification est relativement ancienne et que de nombreux changements seront probablement apportés d'ici à ce que le présent ouvrage soit publié.

CAS D'URGENCE NON CRITIQUES

VOUS AVEZ ASSEZ DE TEMPS POUR CONSULTER

LA LISTE DE VÉRIFICATION ET POUR AVISER LES AUTORITÉS

TABLEAU DE MISE EN GARDE

CIRCUIT DU CARBURANT

POMPE DE GAVAGE

- Pompe de gavage inopérante:
  -Disjoncteur de la pompe de carburant - Recaler

- Si le voyant est toujours éclairé:
  -Pompe de gavage de carburant - Couper

NE TENTEZ PAS DE DÉMARRER

ÉVITEZ DE VOLER À PLUS DE 10 000 PIEDS

20 MIN DE CARBURANT

- Il reste assez de carburant pour voler pendant 20 min à la puissance de croisière.

- Il reste 65 à 100 livres, ou moins, de carburant

ATTERRIR DÈS QUE POSSIBLE

FILTRE DE CARBURANT

- Filtre bouché; le moteur reçoit du carburant non filtré

ATTERRIR DÈS QUE POSSIBLE

CIRCUIT DE GRAISSAGE

CIRCUIT DE DÉRIVATION D'HUILE DU MOTEUR

- Le niveau d'huile est bas et l'huile de graissage du moteur court-circuite le radiateur si la commande de dérivation d'huile du moteur est placée sur AUTO:

  - Commande de dérivation d'huile du moteur - sur AUTO

ATTERRIR DÈS QUE POSSIBLE

CIRCUIT ÉLECTRIQUE

CONVERTISSEUR

o Panne du convertisseur AC:

- Bouton du convertisseur	-	COUPER (OFF)
- Panne du disjoncteur du relais CA	-	Recaler
- Bouton du convertisseur	-	SUR MARCHE (ON)

Si le voyant de panne de l'instrument est toujours allumé

- Bouton du convertisseur	-	COUPÉ

ON PEUT POURSUIVRE LE VOL EN VFR

GÉNÉRATRICE CC

o Panne de la génératrice CC:

- Commande de la génératrice	-	Remettre en circuit si le courant n'est pas rétabli - COUPER
- Disjoncteur de champ de la génératrice:	-	À vérifier
- Commande de la génératrice	-	SUR MARCHE

Si le courant n'est pas rétabli:

- Commande de la génératrice	-	COUPER
- Équipement électrique	-	COUPER (sauf nécessité contraire)

ATTERRIR DÈS QUE POSSIBLE

CIRCUIT HYDRAULIQUE

PRESSION HYDRAULIQUE

o La pression hydraulique est basse:

-Prendre la vitesse propre optimale (70 à 80 noeuds)

-Commande de surpression hydraulique - SUR MARCHE

-Disjoncteur de surpression hydraulique - À couper si la pression hydraulique ne remonte pas

-Commande de surpression hydraulique - Remise en circuit si la pression hydraulique ne remonte pas

ATTERRIR DÈS QUE POSSIBLE

SYSTÈME IFF

IFF

o Le système IFF ne fonctionne pas

CAS D'URGENCE CRITIQUES

NÉCESSITÉ D'UNE ACTION IMMÉDIATE

TABLEAU DE MISE EN GARDE

DÉTECTEUR DE COPEAUX DANS LE MOTEUR

DÉTECTEUR DE COPEAUX DANS LA TRANSMISSION

DÉTECTEUR DE COPEAUX DANS LE ROTOR DE QUEUE

o Particules de métal signalées; possibilité de panne immédiate

ENTAMER UNE DESCENTE RAPIDE AU MOTEUR ET ATTERRIR DÈS QUE POSSIBLE

PANNEAU D'AVERTISSEMENT

PANNE DE MOTEUR

o Régime N_1 du moteur inférieur à 55 % (+3); le moteur est en panne ou sur le point de l'être (en principe la panne est signalée par un avertisseur acoustique)

ENTAMER UNE PROCÉDURE DE PANNE DE MOTEUR

TRANSMISSION

PRESSION D'HUILE

o La pression d'huile est inférieure à 30 PSI ou supérieure à 80 PSI

ENTAMER UNE DESCENTE RAPIDE AU MOTEUR ET ATTERRIR DÈS QUE POSSIBLE

TRANSMISSION HUILE

TROP CHAUDE

o La transmission est dangereusement chaude:

ENTAMER UNE DESCENTE RAPIDE AU MOTEUR ET ATTERRIR DÈS QUE POSSIBLE

ARRÊT DU MOTEUR EN CAS D'URGENCE

Manette des gaz	-	Fermer
Robinet de carburant	-	Fermer
Robinet de batterie	-	Couper

PANNE DE MOTEUR EN STATIONNAIRE OU EN ÉVOLUTION AU RAS DU SOL

Pas général

À régler pour amortir l'atterrissage

Après l'atterrissage:

- Effectuer les procédures d'arrêt du moteur en cas d'urgence

PANNE DE MOTEUR À N'IMPORTE QUELLE ALTITUDE

Pas général

- À régler selon les besoins pour maintenir le régime du rotor (330-390 tours)

Manette des gaz - Fermer

Effectuer l'atterrissage en autorotation

Avant l'atterrissage, si on en a le temps:

- Effectuer la procédure d'arrêt du moteur en cas d'urgence

REMARQUE

La vitesse maximale recommandée pour le vol en autorotation est de 100 noeuds

REDÉMARRAGE DU MOTEUR EN VOL

Se stabiliser en descente planée autorotative

Si l'altitude est suffisante et si la panne n'est pas due à une défaillance mécanique, relancer le moteur:

- Manette des gaz - Presque à la butée de ralenti
- Bouton du démarreur - L'enfoncer et le relâcher à 58-62 % de N_1
- Manette des gaz - L'ouvrir lentement jusqu'en butée pleine puissance (si le redémarrage a réussi)
- Température de sortie de turbine - À surveiller

INCENDIE

INCENDIE DU MOTEUR PENDANT LE DÉMARRAGE (À L'INTÉRIEUR)

Bouton de démarrage - **Le maintenir enfoncé**

Manette des gaz - **Fermer**

Robinet de carburant - **Fermer**

Lorsque la température de sortie de turbine diminue pour redevenir normale:

- **Effectuer les procédures normales d'arrêt du moteur et inscrire un démarrage à chaud**

INCENDIE DU MOTEUR PENDANT LE DÉMARRAGE (À L'EXTÉRIEUR)

EFFECTUER LES PROCÉDURES D'ARRÊT DU MOTEUR EN CAS D'URGENCE

Quitter l'appareil et combattre l'incendie au moyen de l'extincteur de bord si cela est nécessaire.

INCENDIE DU MOTEUR EN VOL

Stabiliser l'appareil en descente planée en autorotation

Effectuer les procédures d'arrêt du moteur en cas d'urgence

INCENDIE DU FUSELAGE

Vitesse propre - **La réduire à son minimum**

Commande de génératrice - **Couper**

Robinet de batterie - **Couper**

ATTERRIR DÈS QUE POSSIBLE

Arrêter le moteur et combattre l'incendie

INCENDIE DU CIRCUIT ÉLECTRIQUE

Commande de la génératrice	-	Couper
Robinet de batterie	-	Couper

ATTERRIR DÈS QUE POSSIBLE

Rechercher les causes de l'incendie

ÉVACUATION DE LA FUMÉE

Chauffage de la cabine	-	Couper
Aération	-	Sur marche
Commande de désembuage et d'aération	-	Sur marche
Aérateurs de porte de la cabine	-	Ouvrir

ATTERRIR DÈS QUE POSSIBLE

CIRCUIT CARBURANT

PANNE DU RÉGULATEUR EN CAS DE SUR-RÉGIME

Pas général	-	L'augmenter ou maintenir le régime moteur à moins de 390 tours
Manette des gaz et pas général	-	À régler pour maintenir 100% de N_1 (si possible) ou pour atteindre la butée de ralenti

ATTERRIR DÈS QUE POSSIBLE AU MOTEUR OU SE METTRE EN AUTOROTATION

PANNE DU RÉGULATEUR EN CAS DE MANQUE DE RÉGIME

Pas général	-	À réduire pour maintenir le régime du rotor dans le secteur vert
Manette des gaz	-	La laisser en place ou la ramener en butée de ralenti si nécessaire

ATTERRIR DÈS QUE POSSIBLE AU MOTEUR OU SE METTRE EN AUTOROTATION

POMPAGE DU N_2

Commande de régulateur de régime	-	Augmenter jusqu'au maximum
Manette des gaz	-	Réduire à 100% de N_1 ou jusqu'en butée de ralenti, selon les besoins

ATTERRIR DÈS QUE POSSIBLE AU MOTEUR OU SE METTRE EN AUTOROTATION

COMMANDE DE COMPRESSEUR

DÉCROCHAGE DU COMPRESSEUR

Puissance	-	À réduire
Commande de dégivrage du moteur	-	Couper
Commande de réchauffage	-	Couper

Si l'on ne met pas fin au décrochage par ces moyens:

- Atterrir et chercher les causes de la panne

ATTERRISSAGE ET AMERRISSAGE FORCÉS

ATTERRISSAGE FORCÉ DANS LES ARBRES

Procéder comme dans le cas d'une PANNE DE MOTEUR À N'IMPORTE QUELLE ALTITUDE

Vitesse-sol	-	La ramener à zéro au sommet des arbres
Pas général	-	À augmenter (pour avoir la moindre vitesse de descente lorsque l'appareil se dépose dans les arbres)

AMERRISSAGE FORCÉ SANS MOTEUR

Procéder comme dans le cas d'une PANNE DE MOTEUR À N'IMPORTE QUELLE ALTITUDE

Prévenir les passagers

Portes	-	À larguer
Vitesse-sol	-	La réduire à zéro avant de prendre contact avec l'eau
Pas général	-	À augmenter (pour avoir la moindre vitesse de descente)

Lorsque le rotor s'est immobilisé:

- Déverrouiller le harnais
- Évacuer l'appareil

AMERRISSAGE FORCÉ AU MOTEUR

Prévenir les passagers

En stationnaire bas:

- **Portes** - **À larguer**
- **Passagers et équipage** - **Donner l'ordre d'évacuation**

Évoluer à bonne distance des membres de l'équipage et des passagers

Commande de la génératrice et de la batterie - **Couper**

Manette des gaz - **Fermer**

Pas général - **À augmenter pour avoir la plus faible vitesse de descente au contact de l'eau**

Quand le rotor s'est immobilisé:

- **Déverrouiller le harnais**
- **Évacuer l'appareil**

SYSTÈME ANTI-COUPLE

PERTE DU ROTOR DE QUEUE

NE PAS ENTAMER UNE PROCÉDURE NORMALE D'URGENCE TANT QUE L'ON N'EST PAS CERTAIN QUE L'APPAREIL RESTE MANOEUVRABLE

PÉDALE GAUCHE BLOQUÉE À L'AVANT DU NEUTRE

Pour pouvoir maîtriser l'appareil à la manette des gaz:

Commande de régulateur de régime	-	Augmenter au maximum
Manette des gaz	-	Réduire à 101 % N_2

Diminuer progressivement la vitesse propre en approche pour en arriver à un point situé à environ deux pieds au-dessus de l'aire d'atterrissage prévue quand la portance de translation disparaît.

Commande de gaz et de pas général	-	La régler pour aligner l'appareil dans le sens d'atterrissage prévu
Commande de pas cyclique	-	Agir du côté du virage après l'atterrissage

PÉDALE DROITE BLOQUÉE EN AVANT DU NEUTRE

Pour pouvoir maîtriser l'appareil à la manette des gaz:

Commande de régulateur de régime	-	Augmenter au maximum
Manette des gaz	-	Réduire à 103% N_2

Choisir une trajectoire d'approche permettant de se présenter avec un vent de 90 degrés à gauche de manière à avoir le meilleur effet de quille. Pour augmenter encore davantage cet effet, placer la commande de pas cyclique contre le vent (autrement dit, croiser les commandes). Réduire progressivement la vitesse propre en approche de manière à arriver en conservant la portance de translation sur le point d'atterrissage prévu.

Commande de gaz et de pas général	-	À régler pour aligner l'aéronef dans le sens d'atterrissage prévu
Commande de pas cyclique	-	À placer dans le sens du virage après l'atterrissage

DÉFAILLANCE DE LA BIELLETTE DE COMMANDE DE CHANGEMENT DE PAS

Suivre les procédures indiquées ci-dessus selon la nature du changement de comportement en lacet.

EN STATIONNAIRE

Manette des gaz	-	Fermer
Commande de pas général	-	À régler pour amortir le choc à l'atterrissage

Après l'atterrissage:

Robinet de carburant	-	Couper
Robinet de batterie	-	Couper

EN VOL

Se mettre en descente planée en autorotation et, si possible, afficher 60 noeuds. S'assurer de la manoeuvrabilité en agissant délicatement sur la manette des gaz ou sur la commande de pas général et, si l'appareil est manoeuvrable, reprendre le vol à puissance réduite.

S'il y a du lacet inverse:

- Reprendre le vol en autorotation

Si on en a le temps:

Robinet de batterie - Couper

Lorsque l'on est sur le point de se poser:

- Manette des gaz - Fermer

- Exécution de l'atterrissage en autorotation

Évacuation d'un hélicoptère en difficulté

Dans l'état actuel des choses, un pilote doit rester aux commandes de l'hélicoptère jusqu'à la fin de la situation d'urgence; il n'y a pas moyen de faire autrement. En raison de la conception et de la configuration des hélicoptères, de nombreuses difficultés se présentent quand, à l'occasion d'une situation d'urgence, on s'efforce de trouver un moyen satisfaisant et sûr d'évacuer l'appareil. Divers centres de recherche procèdent actuellement à l'étude de moyens d'évacuation et trois concepts principaux se sont dégagés de ces études:

1. Sièges à éjection horizontale

   Avec ce système, des fusées éjectent le pilote d'abord horizontalement, pour éviter le rotor, puis vers le haut, pour l'écarter de l'hélicoptère.

2. Rotor frangible avec sièges éjectables

   Avec ce système, les rotors sont largués au moyen d'une charge explosive, le pilote utilisant ensuite un siège éjectable normal d'avion à réaction pour évacuer l'appareil. On peut voir tout de suite qu'il faut avoir atteint une bonne altitude avant que l'éjection soit possible. De plus, les sièges éjectables doivent eux-mêmes avoir une possibilité de mise en oeuvre supérieure à zéro-zéro. Autrement dit, l'éjection doit se dérouler de telle façon que le parachute puisse se déployer même avec une vitesse de descente importante.

3. Habitacles détachables

Avec ce genre de système, une charge explosive fait sauter le rotor principal, après quoi d'autres explosions détachent la capsule de l'équipage du reste du fuselage. La capsule descend ensuite au moyen de parachutes.

À ce jour, aucun de ces systèmes n'a reçu d'application pratique.

Divers organismes consacrent de gros efforts à l'amélioration des chances de survie en cas d'accidents d'hélicoptères, ce dont il sera question dans les chapitres suivants.

CHAPITRE X

"Mal utilisées, les forces qui permettent normalement de s'affranchir de la pesanteur, peuvent être la cause d'une furie destructrice dont les résultats offrent un spectacle qui vous saisit d'effroi"

ENQUÊTE SUR LES ACCIDENTS D'HÉLICOPTÈRES

Pour dire le moins, l'enquête sur un accident d'hélicoptère se révèle parfois déroutante. Bien que nombre de règles qui s'appliquent à l'enquête sur un accident d'avion valent aussi pour celle d'un accident d'hélicoptère, il existe de nombreuses exceptions. Lorsqu'il s'agit d'une rupture en vol, par exemple, il est possible que la répartition des débris n'indique pas la trajectoire de vol avant la désintégration, vu l'éparpillement des pièces, en particulier de celles des rotors. Deux des aspects les plus frappants des accidents d'hélicoptères sont la soudaineté avec laquelle ils se produisent et les dommages considérables que peut entraîner ce qui semble à première vue un simple incident. Cela est généralement du fait que les rotors tournent à haut régime et que l'appareil peut littéralement se hacher lui-même en se contorsionnant au sol.

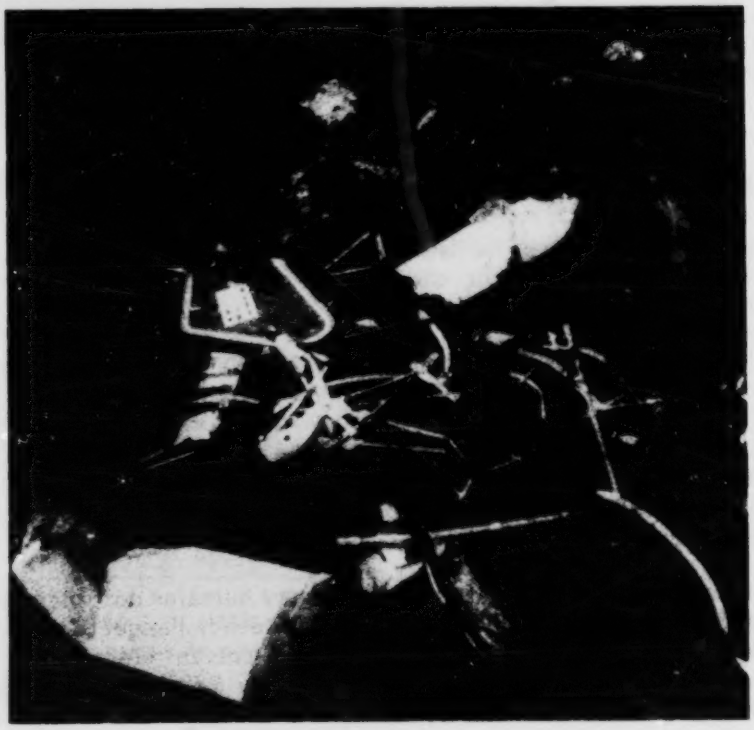


Photo 10-1

Dans toute enquête sur un accident, la notion fondamentale la plus importante est peut-être celle de la combinaison des causes. Il est extrêmement rare d'en découvrir une seule quand on applique les techniques et les principes d'aujourd'hui. Il est par conséquent très important que l'enquêteur prenne en considération tous les aspects de l'accident de façon que les éléments de base de l'ensemble concerné, c'est-à-dire l'appareil, l'environnement, et l'homme, puissent être examinés un par un et comme formant un tout. La plupart des équipes d'enquêteurs comportent des spécialistes de l'exploitation de la technique et de la médecine. Bien que les spécialistes de l'exploitation et de la technique mènent leurs propres parties de l'enquête jusque dans les moindres détails, il appartient à l'enquêteur chargé des facteurs humains d'en savoir le plus possible sur ces aspects de manière que les résultats de son enquête forment un tout rationnel et cohérent. C'est pourquoi l'auteur aborde ici certains aspects des méthodes d'enquête sur l'exploitation et la technique. Il importe de considérer que ce chapitre, comme les suivants, ne constitue pas un document de référence complet pour une enquête sur les accidents d'hélicoptères, et ne peut servir que subsidiairement pour l'enquête relative aux facteurs humains.

En principe, les enquêteurs, au moment où ils arrivent sur les lieux d'un accident, n'ont aucune idée ou théorie préconçue qui puisse les entraîner dans une fausse direction. Cela peut poser un problème à l'enquêteur médical qui est formé en vue d'établir un diagnostic différentiel, d'en étudier chacune des facettes jusqu'à ce qu'il établisse ou non leur bien-fondé et de parvenir par élimination à un diagnostic final. Cette méthode s'applique difficilement sur les lieux d'un accident d'hélicoptère, ou en fait sur ceux de tout accident, puisque beaucoup de temps et d'efforts peuvent être perdus à suivre des théories personnelles.

Il convient toujours de tenir compte des avertissements suivants:

1. Se méfier des idées préconçues.

2. Consigner les faits tels qu'ils apparaissent et s'efforcer ensuite d'en faire l'analyse. Ne pas concevoir une théorie quelconque et s'efforcer ensuite de l'étayer.

3. Faire en sorte que l'enquête avance. Ne pas s'arrêter à des inconnues d'ordre mineur.

4. Ne pas hésiter à poser des questions.

5. Ne pas craindre de déléguer des tâches. On trouve toujours des gens disposés à rendre service.

Le rapport sur l'accident de l'enquêteur des facteurs humains doit bien sûr être rédigé conformément aux exigences de l'organisme pour lequel l'enquête est effectuée. Il est toutefois apparu à l'auteur que le modèle suivant facilite non seulement l'organisation des idées au moment de l'enquête mais aussi la conception du rapport final.

(a) Introduction

L'introduction constitue généralement un simple préambule contenant des renseignements tels que les conditions météorologiques au moment de l'accident, l'objet du vol, les noms des passagers et de l'équipage, etc.

(b) Séquence de l'impact

Cette partie étudie en détail la trajectoire finale de vol et la cinématique de l'impact. Si l'on peut obtenir la plupart de ces données auprès des spécialistes de l'enquête sur l'exploitation et la technique, il appartient néanmoins à l'enquêteur des facteurs humains de procéder, sur les lieux, à sa propre évaluation. Cette partie comporte également une description de la répartition des débris, des lieux, de l'enlèvement du corps de la victime, etc.

(c) Autopsie

Cette partie comporte également une description détaillée de la configuration des blessures. On doit par ailleurs s'efforcer d'établir des liens entre les blessures et la cinématique probable de l'écrasement, la construction de l'habitacle, etc. Les aspects de l'autopsie liés à l'aéronautique seront traités de façon plus détaillée dans les pages qui suivent.

(d) Résultats biochimiques

Il s'agit d'une présentation, sous forme de tableau, des résultats d'analyses d'alcoolémie du sang et des tissus, de carboxyhémoglobine, du profil lacté et autres résultats disponibles d'analyses toxicologiques.

(e) Dossier du pilote

Cette partie du rapport concerne la formation et l'expérience du pilote, son milieu de travail et son cadre de vie. En d'autres mots, il s'agit plus ou moins d'une autopsie psychologique. Par ailleurs, le compte rendu détaillé des activités du pilote au cours des 48 heures qui ont précédé l'accident est important, en particulier pour l'examen de facteurs comme la fatigue, la maladie, l'hypoglycémie, etc.

(f) Historique de l'emploi

En général, il s'agit d'une description des conditions de travail du pilote. Si la plupart de ces renseignements sont obtenus auprès des membres de l'équipe chargée d'enquêter sur l'exploitation, il importe néanmoins que l'enquêteur effectue ses propres recherches dans les dossiers de travail du pilote et évalue les relations de celui-ci avec son employeur, etc.

(g) Conclusions

Cette partie comprend l'évaluation des réactions en cas d'urgence, celle des facteurs humains qui ont pu contribuer à l'accident, et celle des causes du décès.

(h) Possibilités de survie

L'enquêteur sur les facteurs humains examine et rapporte les éléments de possibilité de survie que comporte l'accident. Il doit être en mesure d'établir des rapports entre la cinématique de l'impact, la configuration des blessures et les détails techniques afin de procéder à l'évaluation finale des possibilités de survie. Ce sujet est abordé de façon plus détaillée au chapitre X.

(i) Matériel de sécurité

On procède à l'évaluation du matériel de sécurité comme les casques protecteurs, les harnais, les combinaisons ignifuges, etc.

(j) Recommandations

Il convient ici de formuler des recommandations sur les mesures correctrices qui, suite à l'enquête, permettent de prévenir d'autres accidents ou d'améliorer les possibilités de survie en cas d'accident.

Le principal problème auquel doit faire face l'enquêteur est peut être celui de la collecte rapide et précise de données. Il arrive souvent qu'un enquêteur estime ne pas disposer de suffisamment de temps sur les lieux d'un accident, en raison du volume de travail ou des pressions exercées par les autorités ou les organismes locaux pour que l'enquête soit menée rapidement et que le problème soit résolu. C'est pourquoi il convient de s'arrêter sur le matériel qui permet de faciliter la collecte des données. On suggère qu'en plus de l'équipement normal d'expédition comme les vêtements de saison, les bottes de caoutchouc, les machettes, les rations, etc., l'enquêteur sur les facteurs humains dispose également du matériel suivant:

1. Appareil photographique

(a) Un appareil reflex 35 mm avec objectif normal de 50 ou 55 mm et un objectif grand angulaire de 35 mm. La caméra doit être dotée d'un posemètre lisible à travers l'objectif afin de permettre une mise au point précise de l'ouverture. Les appareils automatiques ne sont pas recommandés, à moins que le diaphragme ne puisse être déclenché manuellement. On doit également prévoir un flash électronique au cas où la luminosité l'exigerait. Il est préférable que ce flash soit automatique, ce qui élimine le besoin de régler la caméra chaque fois qu'une photographie est prise d'une distance différente.

(b) Polaroid SX-70

La caméra "Polaroid" constitue le complément idéal de la caméra 35 mm, puisqu'il est souvent souhaitable d'obtenir des clichés le plus rapidement possible. Les modèles "Polaroid" les plus récents, comme le SX-70, sont préférables puisqu'ils offrent les mêmes possibilités que les caméras reflex à objectif unique, ce qui élimine les erreurs de parallaxe et le minutage du processus de développement des photos.

(c) Appareil de poche

Il est commode de disposer d'un petit appareil de poche, peu coûteux, lorsque le transport d'appareils plus encombrants s'avère difficile. Ces appareils ne présentent toutefois qu'une utilité restreinte, étant donné le format réduit du négatif et la perte de netteté de l'image au moment de son impression ou de la projection d'une diapositive, à cause de la grossièreté du grain du film, etc.

(d) Trépied

On doit prévoir un trépied pour l'appareil de 35 mm pour le cas où il serait nécessaire de prendre des pauses, ou de constituer, la nuit, une image composée.

(e) Film

L'auteur recommande fortement la pellicule couleur haute sensibilité de 35 mm, ainsi que la pellicule couleur Polaroid. Les contrastes entre les couleurs et entre les ombres facilitent généralement l'identification des détails.

2. Magnétophone

Au moment de l'enquête, il convient de faire une description continue des lieux de l'accident au moyen d'un petit magnétophone de poche. Cet appareil sert également à enregistrer les déclarations des témoins.

3. Ruban d'arpenteur

4. Boussole

5. Outils

(a) Un bon couteau de chasse

(b) Une hachette

(c) Des tournevis et des pinces

(d) Des scalpels

(e) Des ciseaux, des pinces hémostatiques, du ruban, des petits sacs de plastique, etc.,

6. Un masque respiratoire au cas où des substances toxiques comme des insecticides, de la mousse d'extinction d'incendie, etc. soient présentes.

7. Un inclinomètre

8. Une calculatrice de poche

9. Des tables mathématiques (ex. les tableaux de Knott)

10. Un télémètre (un de ces articles qui s'avèrent très utiles)

11. Une maquette d'hélicoptère

12. Des loupes

Photographies de l'accident

Pour l'enquêteur, l'appareil photographique est probablement l'outil le plus utile. Il importe que l'enquêteur n'hésite pas à utiliser beaucoup de pellicule; on ne prend jamais trop de photographies, et il convient en prévision d'une idée nouvelle, d'éviter à tout prix le risque de ne pas disposer de toutes les données possibles. Par ailleurs, l'enquêteur doit prendre lui-même les photographies, ou s'assurer que le photographe est capable et dispose d'une formation et d'une expérience suffisantes pour satisfaire aux exigences rencontrées. Il est très important de commencer à prendre des photos le plus tôt possible, alors que l'épave est encore intacte et que les traces sur le sol sont encore visibles. Il est souvent très difficile de déterminer exactement où il convient de commencer lorsqu'on arrive sur les lieux d'un accident et l'auteur recommande de commencer systématiquement à prendre des photos le plus tôt possible. On peut suivre la règle des 5 points suivants:

P - trajectoires
P - points
P - pathologie
P - pièces
P - particularités

On peut photographier ces éléments de la façon suivante:

(a) Trajectoires

On prend les premières photographies en regardant en direction des débris de l'épave et en direction de la trajectoire de vol final. Ces photographies doivent comporter, si possible, tous les détails comme les collines, les arbres, les câbles et autres obstacles présents. C'est pourquoi il est préférable d'utiliser un objectif grand angulaire. On doit, si possible, tâcher d'obtenir des photographies aériennes.

(b) Points

On prend ensuite huit photos, en se servant des points ordinaux et cardinaux de la boussole comme référence. Ces photos sont prises du nord, du sud, de l'est et de l'ouest, à une distance suffisante de façon à cadrer les principales parties de l'épave. Au besoin, les photographies prises du nord-est, du nord-ouest, du sud-est et du sud-ouest peuvent être prises à une moindre distance de l'épave. On peut bien sûr modifier cette méthode en fonction des particularités des lieux de l'accident.

(c) Pathologie

Lorsque les victimes d'un accident mortel se trouvent encore à l'intérieur de l'épave, il convient de les photographier avant et après les avoir extirpées. La photographie au "Polaroid" se révèle ici particulièrement utile puisqu'elle permet lors de l'autopsie du médecin légiste d'établir des relations entre la configuration des blessures et l'épave.

(d) Pièces

Il convient maintenant de photographier tous les petits morceaux éparpillés autour de la partie principale de l'épave, par exemple le rotor, le rotor de queue, etc.

(e) Particularités

On devrait photographier tout ce qui présente certaines particularités, par exemple les égratignures, les indentations, les traces de câbles, etc. Ces particularités devraient également être photographiées à nouveau une fois l'épave grossièrement rassemblée.

Il est souvent préférable d'obtenir une vue panoramique. Pour ce faire, on prend plusieurs clichés à partir d'un même point de vue et on les colle ou on les fait chevaucher de façon à obtenir une vue panoramique.

Au moment où l'on prend les photographies, il convient de les décrire sur bande magnétique et d'apporter un bref commentaire sur chacune d'entre elles, par exemple sur l'endroit d'où la photographie est prise, les détails pertinents, etc.

Il est essentiel que l'enquêteur connaisse le mieux possible l'usage et les limites de chacun des appareils photographiques dont il dispose. C'est pourquoi il est bon de suivre un cours sur le sujet, comme en dispensent de nombreuses associations de photographes, ou encore d'approndir ses connaissances par la lecture.

Chacun des appareils joue un rôle particulier dans la photographie des lieux d'un accident et il convient d'en discuter de façon plus détaillée. La caméra reflex à objectif unique de 35 mm est probablement la plus polyvalente. Un bon appareil à posemètre incorporé constitue probablement la pièce d'équipement la plus fiable de l'enquêteur, dans la mesure où celui-ci en comprend les limites et les difficultés. Ces

appareils permettent de se faire une image exacte de ce qui est reproduit sur pellicule et ne posent aucun problème en ce qui concerne la correction de parallaxe, etc. On peut en outre utiliser différents objectifs téléphotos ou grand angulaire, des tubes-rallonges ou des allonges pour la macro-photographie, ce qui permet d'éviter d'apporter des corrections à la parallaxe ou à l'exposition, dans la mesure bien sûr où l'appareil est muni d'un posemètre incorporé. Bien qu'il semble idéal en toutes circonstances, l'appareil de type "Polaroid" a ses limites, beaucoup moins toutefois depuis l'avènement du modèle SX-70.

L'image obtenue avec le "Polaroid" est en général moins bien définie que celle, par exemple, d'une pellicule de 35 mm de bonne qualité. Par ailleurs, les anciens modèles faisaient perdre un temps précieux puisqu'il fallait minuter le développement des photographies. Ce problème a disparu avec la SX-70. L'appareil "Polaroid" n'en comporte pas moins de nombreux avantages, et on devrait en avoir si possible un sur les lieux d'un accident parce qu'il permet de voir immédiatement si l'exposition est correcte ou non, et si les détails nécessaires figurent sur la photographie. Sinon, il suffit de la reprendre. Il est souvent utile de disposer des photographies des lieux d'un accident. Par exemple, le soir venu, lorsque l'équipe se réunit pour discuter, un bon jeu de photographies permet d'étayer ou de rejeter les hypothèses avancées. En troisième lieu, la photographie au "Polaroid" s'avère pratique au cours de l'autopsie. Le médecin légiste est en effet en mesure de se représenter les circonstances de l'accident, ce que lui permet non seulement d'améliorer la qualité des relations avec les enquêteurs mais l'encourage également à pousser l'autopsie jusque dans ses moindres détails.

Il convient de se rappeler que l'appareil photographique ne perçoit que la réalité immédiate et, à l'encontre des yeux d'un enquêteur, n'est pas soumis à l'influence d'un cerveau dont la tendance naturelle est d'interpréter. Par exemple, une photographie prise dans des conditions de faible luminosité au moyen de lampes au tungstène sera recouverte d'un halo rouge plutôt que des couleurs perçues à l'oeil nu.

Lorsque l'objet photographié est placé contre un fond lumineux, le posemètre n'enregistre que l'intensité de la luminosité qui parvient à l'objectif, ce qui fait qu'on ne percevra sur la photographie que la silhouette de l'objet photographié. Pour éviter cela, il est nécessaire de se rapprocher de l'objet afin de mesurer l'exposition et de régler l'objectif en conséquence.

Soit dit en passant, l'une des techniques les plus importantes mais les moins connues de la photographie nocturne consiste à éclairer consécutivement les divers tableaux d'une scène. On fixe d'abord l'appareil sur un trépied et on laisse l'objectif, réglé en fonction de la distance qui le sépare de l'épave, ouvert. Le photographe se place ensuite en divers points autour de l'épave, et au moyen de son flash électronique, il illumine la scène. Le résultat obtenu est presque aussi bon que si la photographie avait été prise en plein jour. Cette technique permet de nombreuses autres applications et le lecteur est invité à l'essayer.

Bien que l'auteur recommande généralement l'usage d'une pellicule à haute sensibilité et d'un flash électronique lorsque les conditions lumineuses sont faibles, il est parfois souhaitable de "forcer" un peu le film. Pour ce faire, on expose le film à une valeur d'ASA plus élevée, généralement un multiple de la valeur d'origine, et on demande à

la personne qui développe la pellicule de le faire en fonction de cette valeur plus élevée. Il la développe tout simplement dans un bain plus chaud et pendant plus longtemps que la normale. Bien que le produit fini soit quelque peu plus granuleux, on sacrifie très peu à la résolution. Il importe évidemment d'exposer toute la bobine à une même valeur d'ASA.

Témoins

Les témoins, selon leur fiabilité, peuvent ou non se révéler utiles à l'enquête. Quoi qu'il en soit, il convient de les interroger. De nombreux articles ont été écrits sur les techniques d'entrevue, et il ne nous appartient pas d'entrer ici dans les détails du sujet. Il existe néanmoins plusieurs règles fondamentales qu'il convient de suivre lorsqu'on prend la déposition de témoins:

1. les entendre immédiatement, ou le plus tôt possible;

2. empêcher les témoins de communiquer entre eux.

Ces deux règles sont extrêmement importantes puisque si l'on accorde à un témoin le temps de penser à ce qu'il a vu, il aura tendance, inconsciemment, à chercher une explication plausible aux événements. En d'autres mots, s'il n'a été témoin que d'une partie de l'accident, il tentera inconsciemment de combler les vides afin de former une séquence continue. D'un autre côté, les témoins ont tendance à être influencés par ce que les autres ont vu, ou pensent avoir vu. Un témoin peut avoir confondu un phare tournant avec un incendie. Ceux qui l'entendent peuvent douter de leur propre faculté d'observation et se convaincre d'avoir eux aussi vu un incendie.

3. Ne pas poser de question à clé. Il est très facile d'entraîner les témoins dans une fausse direction en leur posant des questions qui peuvent les aider à combler les vides.

4. Permettre aux témoins de parler librement. L'enquêteur doit se montrer prêt à écouter les témoins et poser le moins de questions possible. C'est, après tout, le témoin qui est entendu et non le contraire.

5. Dans la mesure du possible, se rendre avec le témoin à l'endroit d'où il a vu l'accident se produire. Il est parfois utile de se servir d'un chronomètre afin de prendre note des temps relatifs. Par exemple si un témoin aperçoit par la fenêtre un hélicoptère en difficulté, et qu'il sort de la maison juste à temps pour voir l'impact se produire, il peut s'agir là d'un indice précieux pour établir la séquence des événements. Il convient de se rappeler qu'un témoin est rarement en mesure d'évaluer le temps avec précision lorsqu'un événement tragique et déroutant se produit.

6. Essayer d'évaluer la crédibilité des témoins sans toutefois chercher à les étiqueter. À cette fin, il est souvent utile de se servir d'un tableau de crédibilité. Voici un exemple simplifié d'un tel tableau:

Événement / Témoins	Incendie	Explosion	Pièces qui se détachent	Direction	Direction
Témoin A	X	X		X	
Témoin B			X		X
Témoin C		X	X		X
Témoin D		X			X
Témoin E		X			X

De cet exemple, on peut tout de suite tirer la conclusion que le témoin A est peu fiable, que l'hélicoptère se dirigeait en direction nord et qu'une explosion a eu lieu. De plus, il est probable que des pièces se sont détachées de l'hélicoptère, ce qui peut toutefois être établi sur les lieux de l'accident et compte tenu de l'endroit où se trouvait le témoin.

7. Il convient de se rappeler que l'attitude des collègues et des connaissances du pilote victime de l'accident peut être influencée par les sentiments de loyauté qu'ils éprouvent envers celui-ci. Il arrive fréquemment d'entendre des collègues déclarer: "Je ne peux comprendre ce qui s'est produit. Il était parmi les pilotes les meilleurs et les plus prudents du monde". Après quoi, des semaines ou des mois plus tard, des rapports tout à fait contraires font surface. Il convient de les prendre avec un grain de sel, puisqu'il peut s'agir également, de la part de ses collègues, d'une tentative de rationalisation des causes de l'accident, ce qui procède d'un mécanisme d'auto-protection.

   On doit souvent rencontrer les membres de la famille, les collègues, les employeurs, etc., afin d'obtenir certains éléments. Il convient toujours de tenir compte de l'attitude de ces personnes. Il arrive souvent qu'ils se montrent réticents de faire état de tout renseignement qui puisse mettre le pilote ou eux-mêmes en cause, en particulier lorsque l'accident est la conséquence de facteurs humains. C'est pourquoi l'enquêteur doit dresser l'inventaire de tous les renseignements qui lui sont fournis et s'efforcer de les étayer par des faits. Il est arrivé, par exemple, à l'auteur d'entendre dire qu'un pilote, au cours des mois qui ont précédé l'accident, avait été sujet à des évanouissements. Cependant, comme ce fait ne pouvait être établi, on n'a finalement pu en tenir compte.

Étude des lieux de l'accident

Outre la prise de photographies, il est utile et nécessaire de tracer des croquis et de dresser un plan des lieux de l'accident. Lorsqu'il est possible d'en obtenir, les photographies aériennes de l'ensemble des lieux sont d'un grand secours. Si le temps le permet toutefois, il est bon de dresser un plan du terrain, en déterminant l'emplacement des pièces, des arbres et autres obstacles et en particulier les traces que l'on trouve

généralement sur les lieux d'un accident. S'il est parfois nécessaire de faire appel à un arpenteur professionnel, lorsque la précision l'exige, il est généralement possible d'établir un relevé satisfaisant des lieux au moyen d'une boussole et d'un ruban à mesurer. On détermine le relèvement d'après un point de repère ou un point de référence fixe et à l'aide d'un inclinomètre on en détermine l'angle de site. Grâce aux données obtenues de cette façon, on peut, dès que l'on dispose du temps nécessaire, tracer un plan topographique relativement précis des lieux de l'accident.

Il est très important de mesurer et de consigner la longueur et la profondeur des marques laissées au sol aux fins du calcul mathématique de la cinématique de l'écrasement. On doit prendre ces mesures pour l'impact initial et principal et pour les impacts secondaires, et indiquer sur le croquis la distance entre les marques. Pour les calculs relatifs aux possibilités de survie, il importe également de mesurer la distance d'arrêt totale, tant verticale qu'horizontale. On doit mesurer la profondeur des sillons et l'affaissement de la structure de l'appareil; dans le cas d'un accident où la vitesse verticale de descente est élevée, par exemple, la distance d'arrêt verticale équivaut au total de la profondeur des sillons, de la déformation du fuselage et des sièges, alors que la distance d'arrêt horizontale comporte la longueur des traces de dérapage, en plus de l'affaissement horizontal de la structure.

Il est essentiel de prêter attention aux sillons creusés par les rotors puisqu'ils peuvent donner de nombreux indices en ce qui concerne le régime des rotors au moment de l'impact. Le rotor de queue laisse des traces caractéristiques et on peut trouver des écailles de peinture dans les sillons. De plus, on trouve souvent juste à côté le sillon creusé par la béquille arrière. On peut confirmer le fait que ces marques ont réellement été laissées par le rotor de queue en vérifiant si le bout des pales du rotor de queue est couvert d'égratignures ou de terre, ainsi que par la configuration particulière des déchirures. L'arbre de transmission du rotor de queue est évidemment tordu si l'on a donné du moteur au moment où le rotor de queue a heurté le sol.

Pour calculer la cinématique de l'écrasement, il est également nécessaire de mesurer l'angle de site, et lorsque des traces sont visibles dans les arbres, l'angle de trajectoire du vol. On le fait à l'aide d'un inclinomètre, qui permet de mesurer cet angle par rapport à l'horizontale. De même, lorsqu'on connaît la distance entre l'endroit où cet angle est mesuré et un objet quelconque, par exemple un arbre, on peut déterminer la hauteur de cet objet. Par exemple, lorsqu'il est déterminé que le sommet d'un arbre situé à 100 pieds se trouve à 15 degrés au-dessus de l'horizontale, la hauteur de cet arbre est égale à 100 X la tangente de 15, soit 26,8 pieds.

Examen pathologique

Dans le cas d'un accident mortel, on ne doit en aucun cas négliger les résultats d'un examen pathologique détaillé. Un médecin légiste patient et qualifié peut découvrir de nombreux indices des forces de décélération au moment de l'impact, ou la séquence des événements, par l'examen approfondi de la configuration des blessures. Même lorsque l'accident n'est pas mortel, la configuration des blessures offre néanmoins de nombreux indices. Si les possibilités de survie des accidents d'hélicoptères sont discutées en détail plus loin, les statistiques suivantes n'en présentent pas moins ici un certain intérêt. Environ 30 % des décès survenus lors d'accidents où la survie était possible sont dus à des brûlures. Selon une étude de l'USABAAR, des

incendies se déclarent après l'écrasement dans 9 % des accidents d'hélicoptères légers d'observation, dans 33 % des accidents d'hélicoptères de servitude, et dans 82 % des accidents d'hélicoptères de transport. Dans trois décès sur quatre survenus lors d'accidents d'hélicoptères de transport, les brûlures subies étaient mortelles. Dans de nombreux cas, les incendies sont attribuables au déplacement de la transmission, entraînant la rupture des canalisations d'huile et des circuits hydrauliques et électriques. Incidemment, le déplacement de la transmission dans l'habitacle se produit dans un accident sur quatre, entraînant 13 % des décès survenus lors d'accidents où la survie est possible.

On peut répartir les blessures subies lors d'un impact en deux grandes catégories:

1. Les blessures occasionnées par un contact violent entre l'occupant et la structure de l'habitacle ou, à l'intérieur de celui-ci, un objet quelconque pouvant entraîner des fractures par compression des vertèbres. Un exemple de ce genre de blessures est la configuration du "menton-sternum-coeur" décrite par Simpson et observée par l'auteur à deux reprises.

2. Les trois blessures les plus fréquentes lors d'accidents où la survie est possible sont les déchirures, les fractures, et les brûlures. Parmi les blessures graves les plus fréquentes est la fracture ouverte du tibia, causée par le choc entre le tableau de bord alors que les pieds sont fermement posés sur les pédales. Outre les blessures au dos, dont la gravité va des tours de reins et de l'écrasement des chairs aux fractures par compression, la plupart des lésions sont dues aux mouvements incontrôlés du pilote au moment de l'impact et sont en général périphériques:

membres supérieurs	-	22 %
membres inférieurs	-	20 %
dos	-	13 %
tête	-	11 %
visage	-	10 %
poitrine	-	8 %
généralisées	-	6 %
abdomen	-	4 %
cou	-	4 %
pelvis	-	2 %

Les causes de décès dans les accidents où la survie est possible se résument ainsi:

brûlures et complications	-	30%
lésions multiples extrêmes	-	18%
blessures à la tête	-	15%
hémorragie et choc	-	9%
lésions au coeur et aux artères	-	9%
hémopneumothorax	-	8%
pneumonie chimique	-	8%
noyade	-	3%

Dans les accidents avec possibilités de survie nulles, la principale cause de décès résulte de lésions multiples extrêmes, souvent compliquées par la déflagration d'un incendie. Les blessures à la tête sont la deuxième cause de décès. Signalons au passage qu'une cause fréquente de blessures à la tête dans les accidents où la survie est possible tient à ce que les pilotes retirent leurs casques après l'impact. Victimes de la force de l'habitude, ils sont aspergés de liquides inflammables, lacérés par des éclats de métal ou mortellement frappés par des pièces qui tournent encore.

Les principales raisons pour lesquelles on procède à l'autopsie des victimes d'accidents d'avion sont les suivantes:

1. identification de la victime;

2. examen de la configuration des blessures;

3. détermination de la séquence des événements;

4. détermination de l'état de santé de la victime;

5. détermination du nombre de G exercés sur le corps, ce qui facilite les calculs relatifs à la cinématique de l'écrasement;

6. facteurs biochimiques

   (a) alcoolémie
   (b) oxycarbonisme
   (c) profil lacté
   (d) intoxication médicamenteuse ou autre

Il importe que l'enquêteur chargé des facteurs humains soit présent, si possible, au cours de l'autopsie. Il doit dresser avec soin l'inventaire de toutes les blessures externes et des lésions internes. Il faut, chaque fois que c'est possible, prendre des radiographies, en particulier de la colonne vertébrale et des extrémités. L'enquêteur doit aider le médecin légiste à recueillir des prélèvements de tissus et de sang pour analyse toxicologique. Ces prélèvements doivent être convenablement étiquetés, déposés dans des contenants appropriés et immergés pour conservation dans un mélange surcongelant de saline et de glace. Il importe également que l'autopsie soit pratiquée le plus tôt possible: il s'agit d'une urgence médicale.

Reconstitution de l'accident

L'enquêteur et ses collègues disposent maintenant d'un grand nombre de données, notamment répartition des débris de l'épave, mode de rupture, témoignages et données d'ordre pathologique pouvant faciliter la reconstitution des événements. L'enquête n'en demeure pas moins loin d'être terminée, puisqu'il reste l'énorme tâche de classer ces données par ordre logique. On doit s'efforcer de relier et d'expliquer les détails de la rupture, tant sur l'homme que sur l'appareil. Il est souvent pratique de rassembler grosso modo les pièces de l'appareil, sans toutefois modifier les surfaces endommagées (puisqu'une analyse métallurgique peut s'avérer nécessaire).

Dans les accidents d'hélicoptères, il est malheureusement très difficile d'établir des relations précises puisqu'on ne retrouve aucune uniformité. Dans les accidents attribuables à une perte de maîtrise par exemple, l'appareil s'écrase de façon imprévisible.

On remarque dans les accidents d'hélicoptères un certain nombre de tendances particulières. Nombre d'accidents résultent du choc contre un obstacle, par exemple un arbre. Dans ce genre d'accidents, le rotor cherche à "escalader" l'obstacle, ce qui entraîne la chute de l'appareil du côté opposé. Il arrive que le déplacement de la transmission soit évident, comme l'illustre la photographie 10-2, ce qui non seulement permet d'expliquer les causes d'une blessure, mais constitue en outre un indice précieux dans la mesure où la transmission est déplacée vers l'avant lorsque la pale reculante subit le premier choc, et vice versa. Sur certains hélicoptères, il est très fréquent que le rotor ou la barre de stabilisation pénètre à l'intérieur de l'habitacle.

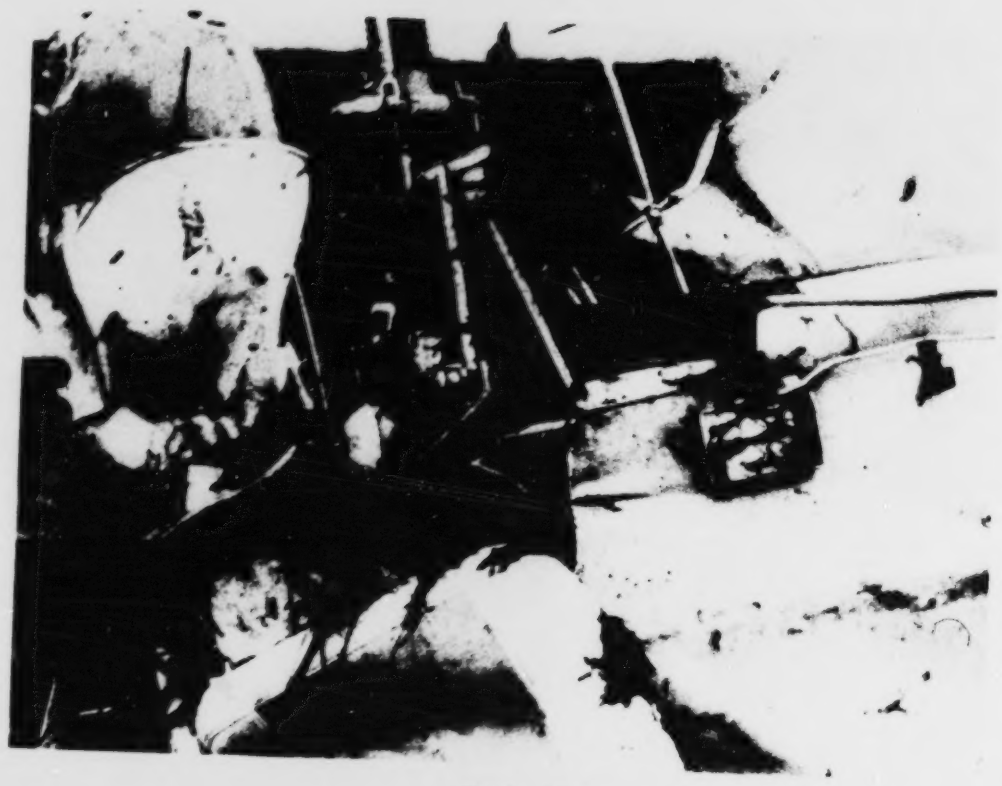


Photo 10-2

Comme les accidents d'hélicoptères comportent souvent une vitesse de descente élevée, il n'est pas inhabituel que le rotor principal sectionne l'arbre de transmission du rotor de queue ou encore la poutre de queue. La photographie 10-3, par exemple, illustre le résultat d'une autorotation et l'impact dur qui en a résulté.

Il est souvent possible de déterminer la cause des dommages subis par le rotor principal en établissant une corrélation minutieuse entre les traces de peinture, etc. La photographie 10-4 représente un stabilisateur horizontal grossièrement rassemblé.

Photo 10-3

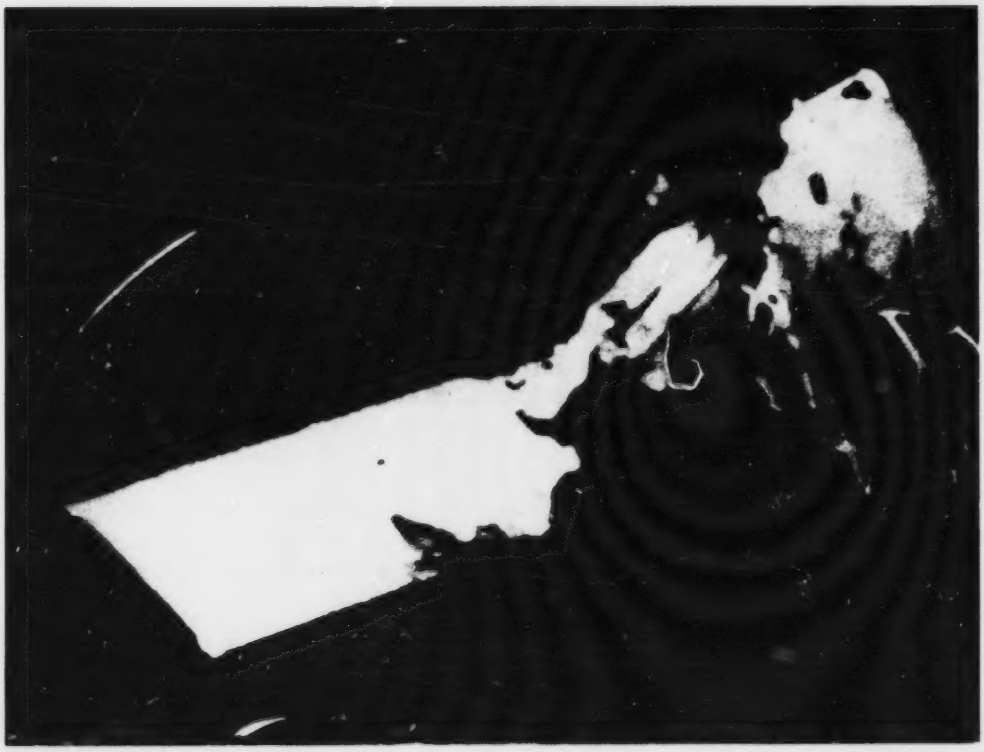


Photo 10-4

La photographie permet de remarquer que le rotor principal a tranché le stabilisateur horizontal de l'hélicoptère. On a découvert une petite section du longeron d'aluminium du stabilisateur horizontal encastré dans le rotor principal, comme le montre la photographie 10-5.

Photo 10-5

La photographie 10-6 représente une perforation de forme circulaire dans le rotor principal. On a pu constater que la ferrure du tube transversal s'ajustait à cette perforation, ce qui a permis d'établir que ces dommages se sont produits au moment du tonneau.

Photo 10-6

Enfin, lorsqu'on soupçonne une avarie quelconque, il convient de conserver soigneusement les pièces concernées pour les faire analyser par un laboratoire expérimenté. Cela peut comporter la dépose du moteur et c'est pourquoi il est préférable d'éviter de faire tourner le vilebrequin.

Exemples d'accidents

Cas n° 1 Vers 15 heures par un après-midi d'été, un hélicoptère en service commercial essaie d'exécuter une transition normale en décollant d'une aire exiguë. Au moment où l'hélicoptère prend de la vitesse et s'approche des arbres, le pilote essaie de gagner de l'altitude en augmentant le pas général. Il s'aperçoit alors qu'il est incapable de s'élever au-dessus des arbres et que le régime du rotor a chuté. Il entreprend donc un virage à la pédale gauche et tente d'atterrir au moteur.

On peut voir le résultat final sur la photographie 10-7. Le pilote n'a subi aucune blessure, sauf, peut-être, d'amour-propre.

Photo 10-7

Pour décoller d'une aire exiguë, le pilote sacrifie normalement la vitesse à l'altitude, c'est-à-dire qu'il commence par prendre de l'altitude avant de se mettre en transition. La plupart du temps, il est téméraire de tenter une transition normale en décollant d'une aire exiguë. Dans le cas qui nous concerne, un vent de face de 15 milles à l'heure, ce qui crée évidemment une certaine subsidence au bord de la clairière, là où le pilote a justement tenté de prendre de l'altitude constituait un risque supplémentaire. Le fait d'appliquer la pédale de gauche a fait chuter davantage le régime du rotor, étant donné la puissance accrue qu'exige un virage à la pédale de gauche.

Tout porte à croire que la cause de cet accident est due à une erreur de jugement. En examinant le carnet de vol du pilote, on a découvert qu'au cours des jours qui ont immédiatement précédé l'accident, il volait entre 9 et 11 heures par jour. Il avait l'habitude de se lever tôt le matin, de prendre un petit déjeuner consistant et de voler ensuite toute la journée sans la moindre collation jusqu'à environ 8 heures du soir. Au moment de l'accident, son taux de glucose aurait donc été très bas, ce qui en plus de la fatigue de vol peut avoir contribué à l'erreur de jugement.

Cas n° 2 Dans le grand Nord du Canada, un hélicoptère et ses trois occupants disparaissent au cours d'un vol d'essai. L'hélicoptère est retrouvé le lendemain. L'écrasement était caractérisé par le fait que l'impact avait eu lieu presque à l'horizontale et qu'il comportait un élément important de la décélération. L'appareil s'était retourné sur le dos, éjectant les deux passagers. (Voir la photo 10-8). Le corps du pilote a été retrouvé à l'intérieur de l'appareil. Les trois occupants sont tous décédés des suites de lésions, le pilote ayant subi des blessures graves à la tête. L'état des corps a révélé une composante verticale de décélération importante, plus de 25 G.

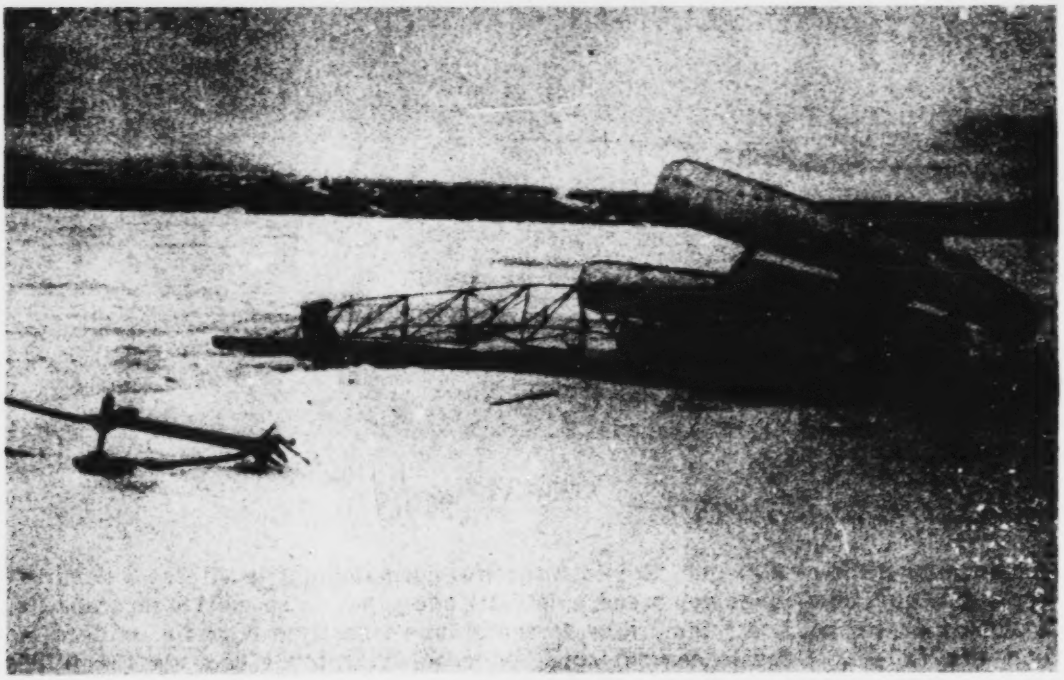


Photo 10-8

Le pilote avait exercé son métier au sein des Forces armées et comptait plus de 1000 heures de vol sur hélicoptère. Au cours des 90 jours qui ont précédé l'accident, il avait effectué sept heures de vol, et pendant les 48 heures précédentes il avait fait une sortie d'environ 15 minutes. L'hélicoptère avait été convoyé dans le Nord, avec son pilote et son mécanicien, à bord d'un DC-3. Il semble que le duo avait commencé à consommer des boissons alcooliques dès son départ et était demeuré en état d'ébriété pendant toute la durée du trajet. Une fois arrivés dans le Nord, le pilote et son mécanicien ont entrepris l'assemblage de l'hélicoptère tout en consommant, selon certains témoins, de l'alcool. La tâche terminée, le pilote a exécuté un vol d'essai d'environ 15 minutes. Comme il n'était pas satisfait de l'appareil, le mécanicien a apporté certaines modifications.

Le jour de l'accident, le pilote, son mécanicien et une connaissance, ont commencé à boire tôt le matin et continué à le faire toute la journée. Vers la fin de l'après-midi, les trois ont laissé entendre qu'ils allaient effectuer un vol, bien qu'un certain nombre d'employés du camp aient tenté de les en dissuader. Au moment où ils se dirigeaient vers l'appareil, on a remarqué qu'ils emportaient des boissons alcooliques.

L'autopsie du corps du pilote a permis de découvrir que son alcoolémie était de 0,12, ce qui est de loin supérieur à la limite légale pour la conduite d'un véhicule moteur. Il est bien connu que même un taux de 0,02 affaiblit les facultés et des études récentes, qui ont essayé de mesurer le comportement de personnes sous l'influence d'une quantité plus ou moins importante d'alcool, ont démontré que même le taux le plus faible affaiblit considérablement les facultés.

L'accident ne laissait aucune possibilité de survie, étant donné la distorsion de l'habitacle et le nombre maximal de G. L'appareil n'a pas brûlé puisque les réservoirs étaient vides.

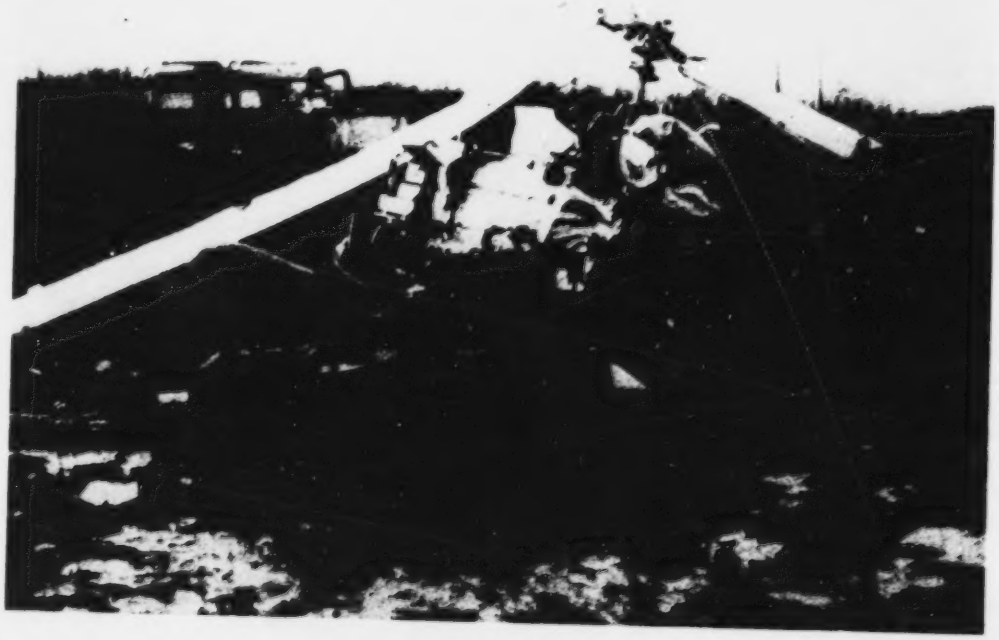


Photo 10-9

Cas n° 3

Vers 15 heures, un hélicoptère transportant deux personnes disparaît au cours d'un vol de surveillance des lignes électriques à haute tension, en pays de brousse. L'hélicoptère est retrouvé par la suite à proximité des lignes électriques (voir la photo 10-9). Les deux occupants ont été tués dans l'accident. Les débris de l'hélicoptère étaient éparpillés sur une grande surface, et la partie principale de l'épave était toute tordue, l'appareil ayant probablement fait un "soleil" dans les marécages. Le flotteur de gauche était partiellement retenu au patin de l'hélicoptère, alors que le flotteur de droite s'en trouvait à une certaine distance, dans le sens de la trajectoire de vol. Certaines pièces de l'hélicoptère comme la bulle de plexiglass, des parties de la poutre de queue et la batterie, ont été retrouvées à des centaines de pieds de la partie principale de l'épave. Le stabilisateur horizontal avait été coupé en deux par le rotor principal et on a retrouvé des traces laissées par les câbles de commande sur l'un des rotors (voir photo 10-5). Une fois grossièrement rassemblés les supports métalliques du flotteur de gauche, retrouvés à plus d'une centaine de pieds de celui-ci, on a découvert des traces laissées par une ligne électrique (voir photo 10-10)

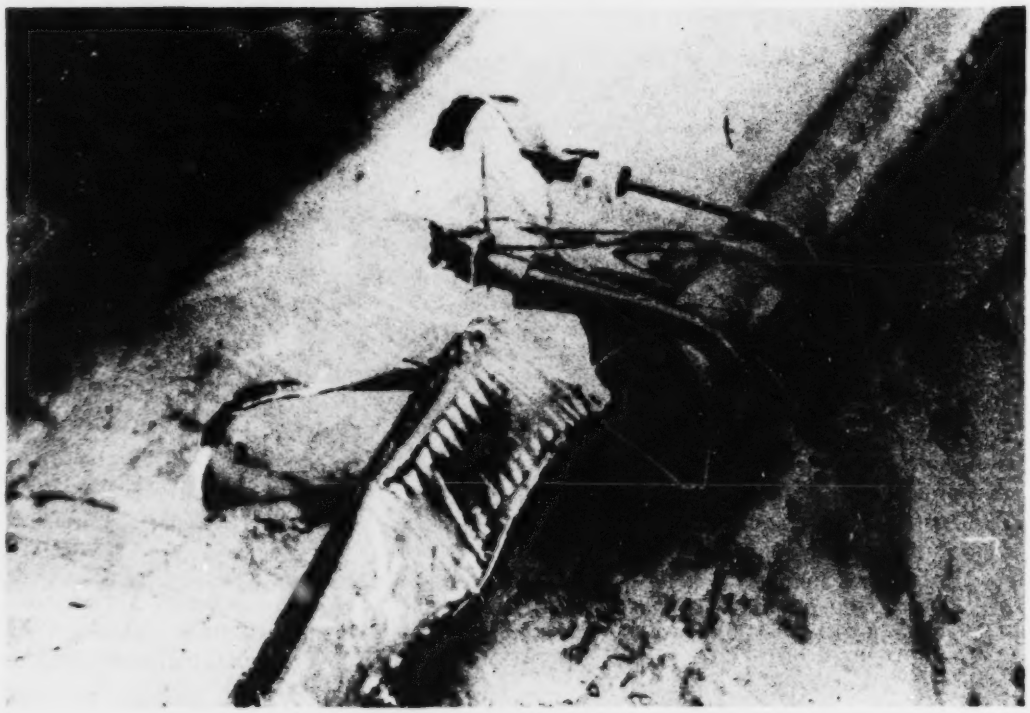


Photo 10-10

On a alors procédé à l'inspection des lignes électriques et constaté que les amortisseurs de vibration avaient été quelque peu étirés. L'auteur a ensuite survolé les lieux à bord d'un hélicoptère (voir photo 10-11).

Photo 10-11

De nombreux éléments sont immédiatement apparus comme évidents: le pilote de l'hélicoptère procédait au contrôle d'un câble qui se trouvait à droite et en dessous de celui qu'il survolait. Ces deux lignes adjacentes s'écartent soudain et bifurquent vers la gauche, ce qui donne l'impression que l'on dispose d'un espace considérable pour effectuer un virage. Cependant un autre câble, plus élevé, traverse perpendiculairement la trajectoire du vol. De l'endroit où se trouvait le pilote juste avant l'accident, les poteaux de cette ligne semblaient appartenir à celle qu'il contrôlait. À l'arrière-plan figure également une rangée d'arbres, un lac dont la berge suit une ligne relativement droite et une usine. Au loin, la fumée provenant de l'usine dérivait à travers le champ de vision, ce qui rendait le câble supérieur pratiquement invisible. Comme il avait été récemment posé, il n'était pas balisé, comme l'est normalement le deuxième pylône qui le précède. Toutes les autres lignes transversales étant balisées, le pilote ne pouvait donc s'attendre à en voir surgir une. Ses chances d'apercevoir cette ligne étaient encore réduites par l'aspect confondant que présentaient, au loin, la ligne boisée, la berge et la fumée qui atténuait le contraste visuel entre les lignes électriques et l'horizon.

On est par conséquent arrivé à la conclusion que le flotteur gauche de l'hélicoptère a heurté le câble aérien, que l'appareil s'est ensuite retourné, a perdu sa poutre de queue en plein ciel et s'est écrasé dans les marécages.

Cas n° 4

Au cours d'un vol de nuit par mauvais temps, avec averses de neige sporadiques, un hélicoptère disparaît au-dessus d'un lac. On ne retrouve aucune trace de l'appareil avant le printemps suivant, alors que les flotteurs et d'autres parties de l'appareil sont découverts sur la berge du lac, certaines pièces à plus de 27 milles l'une de l'autre. Le corps du pilote a été découvert intact, vers la fin du printemps et une jambe droite, décomposée, retrouvée par des pêcheurs à l'automne de la même année. On a pu identifier cette jambe comme appartenant au passager du siège de gauche avant grâce à une plaque chirurgicale vissée au tibia. On a procédé à une analyse minutieuse de la configuration des fractures. Comme les radiographies permettent de le constater (photos 10-12, 10-13) les petits os des pieds ont été fracturés sous un angle d'environ 45 degrés, ainsi que le tibia dont la partie inférieure était déplacée vers l'arrière.

Le fémur était également fracturé, comme la tubérosité ischiaque, en partie atteinte par une invulsion. On a estimé que les fractures fémurales et ischiaques correspondaient probablement à un impact mais à grande vitesse et sous faible pente au contact de l'eau (ce qui correspond à l'aspect général des dommages sur les parties de l'épave qu'on a retrouvées). On en est également venu à la conclusion que la seule explication possible aux fractures des os du métatarse est que les pieds du passager étant posés à plat sur le plancher, le pied droit a heurté le repose-pied au cours de la décélération. Normalement, lorsqu'une personne saisie d'effroi s'attend à une collision imminente, elle jette en avant sa jambe droite, comme pour freiner, ce qui donne lieu à une configuration particulière des fractures. On a donc présumé que le passager, du moins, ne s'attendait pas à l'impact. L'accident est donc probablement dû à la désorientation et aux conditions de visibilité extrêmement mauvaises.

Cet accident illustre bien toute l'abondance des données que permettent d'obtenir un minimum d'indices lorsque ceux-ci font l'objet d'un examen minutieux et d'une analyse approfondie. L'enquêteur doit se montrer extrêmement curieux et observateur, s'efforcer d'expliquer la moindre anomalie et être en mesure de se servir d'éléments positifs comme négatifs pour tirer les conclusions de l'enquête.

Pour plus de détails en ce qui concerne l'enquête sur les facteurs humains, se reporter aux deux feuilles de contrôle, qui figurent aux annexes A et B.

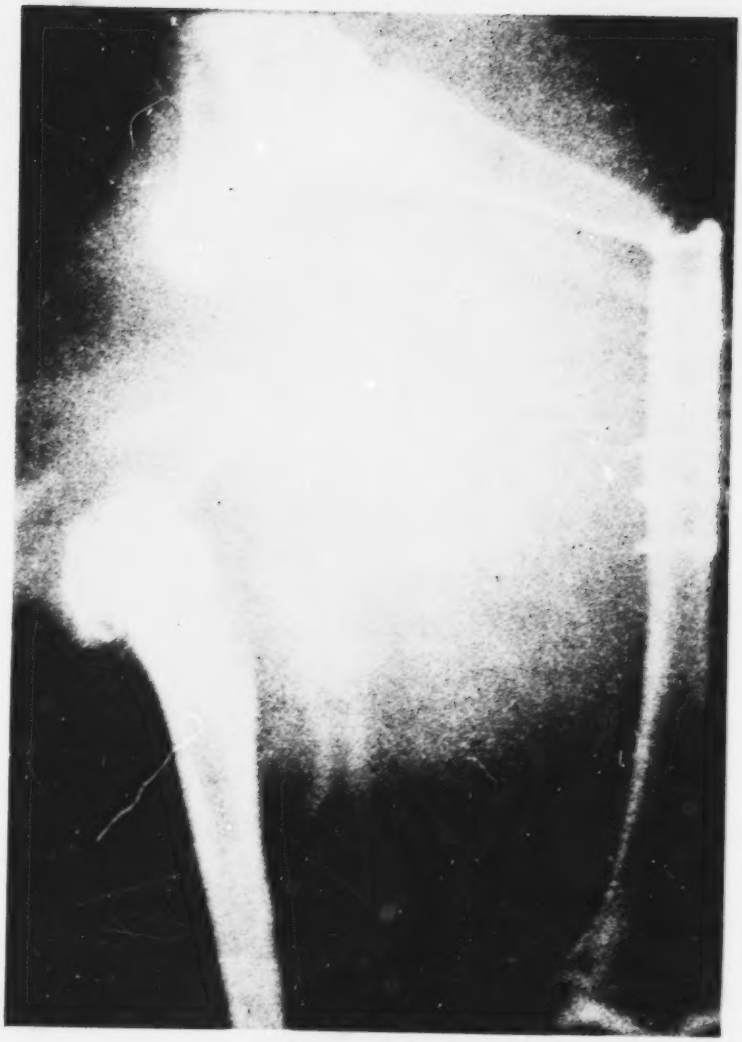


Photo 10-12

Photo 10-13

CHAPITRE XI

CINÉMATIQUE D'UN ACCIDENT

"L'application de quelques règles simples peut révéler des secrets qui seraient sans elles restés à jamais cachés dans l'enchevêtrement des débris de l'épave."

Photo 11-1

L'un des aspects très importants de l'enquête sur les facteurs humains, dans n'importe quel genre d'accident d'aviation, est l'évaluation des chances de survie. Les objectifs d'une enquête sur les chances de survie en cas d'accidents sont de trois ordres:

1. déterminer les causes des lésions corporelles dues à un accident;

2. isoler les facteurs qui contribuent à empêcher ou à diminuer ces lésions;

3. tirer parti des connaissances acquises par la consultation de rapports d'enquêtes sur des accidents particuliers de façon à donner aux passagers le maximum de protection à l'occasion d'un accident.

Pour qu'il soit possible de survivre à un accident deux conditions sont nécessaires pour au moins un des passagers.

1. La force d'impact qui s'exerce sur le passager ne doit pas être supérieure aux limites de tolérance humaine à une décélération brusque, et

2. Le volume de l'habitacle doit rester suffisant pour le passager.

Bien qu'une évaluation de la seconde condition, à savoir la déformation de l'habitacle, puisse s'effectuer facilement sur les lieux de l'accident, il va de soi que pour pouvoir déterminer le nombre de G maximal auquel les passagers ont été soumis il faut procéder à des calculs qui supposent certaines notions de mathématiques. Bien que ces calculs puissent, le cas échéant, être très compliqués et nécessiter l'intervention d'un ingénieur ou d'un physicien, l'enquêteur chargé des facteurs humains peut procéder à des évaluations simples de possibilité de survie en utilisant quelques formules et équations élémentaires.

Trigonométrie

La plupart des lecteurs de cette publication ont étudié la trigonométrie à un moment ou à un autre de leur vie. Cependant, la mémoire humaine étant ce qu'elle est, il est probablement opportun de revoir certaines des notions mathématiques de base relatives aux triangles. Nous nous limiterons ici au triangle rectangle, puisque c'est lui qui permet de résoudre la plupart des problèmes.

Tout d'abord, le triangle rectangle est une figure géométrique comportant trois côtés et un angle de 90°. Il est vrai pour tous les triangles que la somme de leurs angles est égale à 180°. La figure 1 montre un triangle rectangle dont l'angle C est de 90°. De toute évidence, la somme des angles a, b et c est de 180°. En géométrie, le côté AB, qui est le plus long du triangle, s'appelle l'hypoténuse.

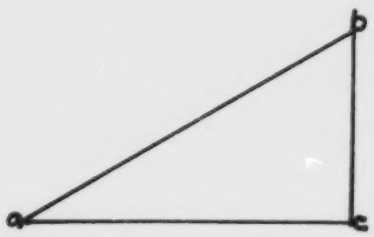


Fig. 11-1

Fonctions trigonométriques

L'une des particularités vraiment remarquables des triangles rectangles tient à ce que pour n'importe quel angle donné, le rapport des côtés quelconques est constant. Par exemple, si l'angle "a" est de 30°, le rapport des côtés BC et AB sera toujours de 0,5, autrement dit AB sera deux fois plus long que BC, quelle que soit la longueur de AB. Cette constatation a été faite il y a bien longtemps par quelques mathématiciens intelligents qui ont créé une table représentant les rapports que les côtés ont entre eux selon la valeur des angles. Ces rapports sont connus sous le nom de fonctions

trigonométriques et pour les besoins du calcul de la cinématique d'un accident cette discussion peut se limiter à l'emploi des sinus, des cosinus et des tangentes dont les abréviations respectives sont sin, cos et tg. Le tableau suivant peut donner une idée de ces valeurs:

Tableau 1

Sinus (sin) =	Côté opposé, ex. sin a = hypoténuse	$\frac{BC}{AB}$
Cosinus (cos) =	Côté adjacent, ex. cos a = hypoténuse	$\frac{AC}{AB}$
Tangente (tg) =	Côté opposé, ex. tg a = Côté adjacent	$\frac{BC}{AC}$

Notez que les exemples de ce tableau se rapportent aux fonctions trigonométriques de l'angle "a". Le côté opposé à l'angle "a" est BC tandis que le côté adjacent à l'angle "a" est AC. De toute évidence, l'hypoténuse est AB.

L'enquêteur, maintenant qu'il possède ces informations, peut trouver les angles inconnus "a" ou "b" s'il connaît la longueur d'au moins deux des côtés, de même qu'il peut trouver la longueur inconnue d'un côté s'il connaît soit la longueur des deux autres côtés soit la valeur d'un des angles et la longueur d'un des côtés.

Exemples de problèmes - pour la commodité du lecteur, on trouvera à l'annexe B de cette publication un tableau simplifié des rapports trigonométriques.

Problème 1 -L'enquêteur se trouve à 150 pieds de la base d'un arbre. Au moyen de son inclinomètre, il détermine que le sommet de l'arbre se présente sous un angle de site de 15°. Déterminez la hauteur de l'arbre. Solution: disons que la hauteur de l'arbre égale A -

Fig. 11-2

$$\text{tg } 15° = \frac{X}{150}$$

d'où X = 150 tg 15 = 40,2 pieds

Problème 2 - Un enquêteur doit trouver la largeur d'une rivière. Celle-ci est cependant trop large pour être mesurée au ruban mais un pont la traverse sous un angle de 20° par rapport au rivage et l'enquêteur calcule que la longueur du pont est de 150 pieds d'une rive à l'autre. Pour trouver la largeur de la rivière, il doit savoir que celle-ci est égale au côté X d'un triangle rectangle, ainsi que le montre la figure.

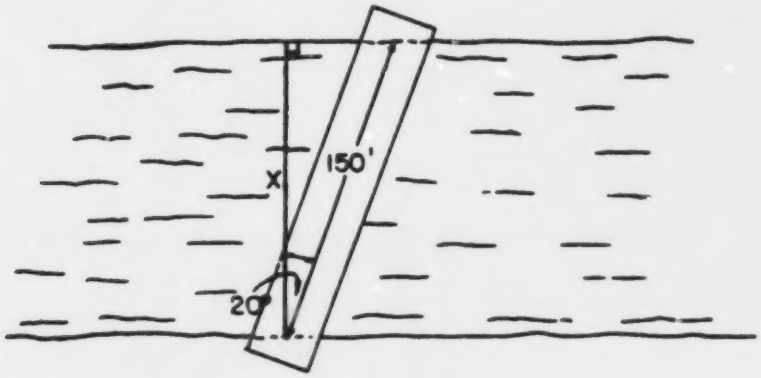


Fig. 11-3

Le cosinus de 20° serait égal à:

$$\cos 20° = \frac{X}{150}$$

d'où X = 150 cos 20 = 0,940 x 150 = 141 pieds

La largeur de la rivière est donc de 141 pieds.

Pourvu de ces notions de trigonométrie, un enquêteur peut effectuer de nombreux calculs utiles. L'importance de la mesure des angles et des distances apparaît maintenant comme évidente. Pour comprendre parfaitement les applications de la trigonométrie dans le cas d'une enquête sur les accidents d'aviation, les définitions ci-après sont nécessaires.

1. Pente du terrain - C'est l'angle situé entre la surface d'impact et l'horizontale, mesuré parallèlement au plan vertical de la trajectoire de vol, dans le sens de cette trajectoire. Le signe algébrique de la pente du terrain est positif quand le sens de la trajectoire est ascendant et négatif quand il est descendant.

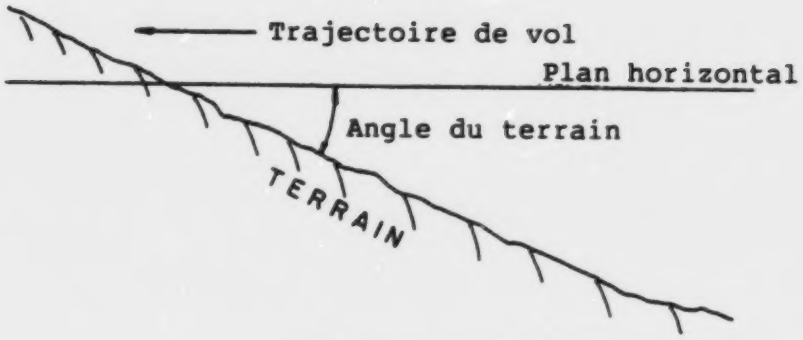


Fig. 11-4

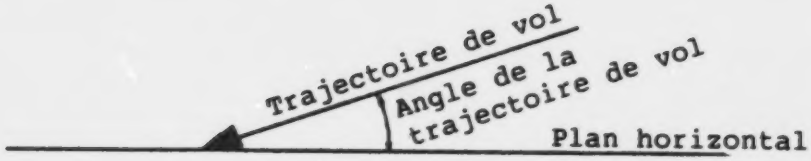


Fig. 11-5

2. **Angle de la trajectoire de vol -** C'est l'angle compris entre la trajectoire de vol de l'aéronef et l'horizontale au moment de l'impact. Le signe algébrique de l'angle de trajectoire de vol est positif si l'aéronef se déplace vers le bas immédiatement avant l'impact. Ce signe est négatif si l'impact se produit alors que l'aéronef se déplace vers le haut. Dans ce dernier cas, un certain effort d'imagination est nécessaire pour visualiser la trajectoire d'un aéronef qui se déplace vers le haut au moment de l'impact. Cependant, si l'on se souvient que les hélicoptères volent souvent en montagne, le fait devient évident.

3. Angle d'impact

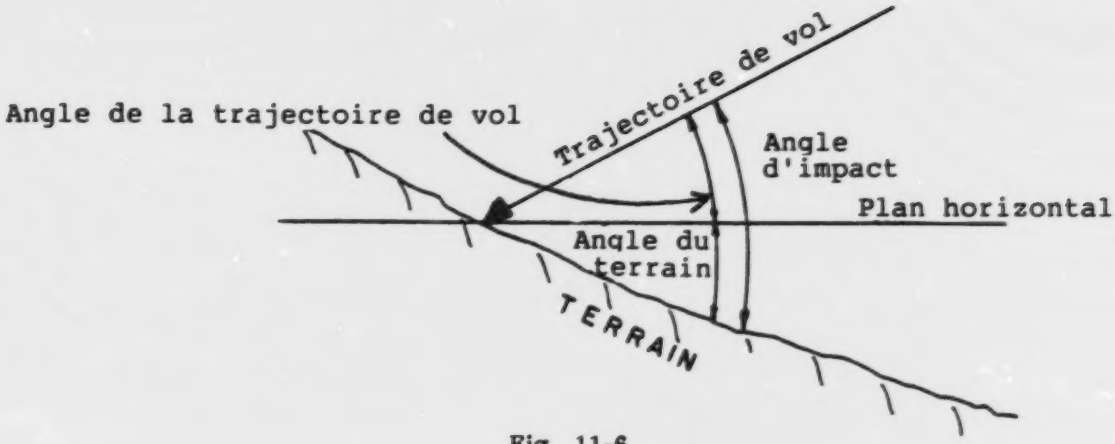


Fig. 11-6

L'angle situé entre la trajectoire de vol et le terrain, mesuré parallèlement au plan vertical de la trajectoire de vol, constitue l'angle d'impact. L'angle d'impact est la somme algébrique de l'angle de la trajectoire de vol et de l'angle du terrain.

ANGLE D'IMPACT = ANGLE DE TRAJECTOIRE DE VOL + ANGLE DU TERRAIN

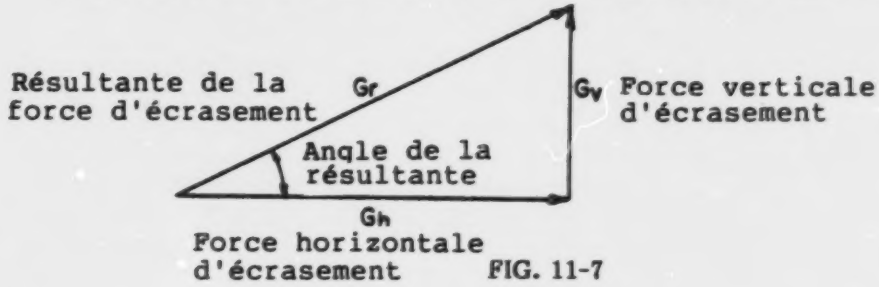


FIG. 11-7

4. Résultante de la force d'écrasement -

C'est la somme géométrique des forces horizontale et verticale d'écrasement (ces forces sont déterminées d'après les composantes horizontale et verticale de vitesse au moment de l'impact ainsi que d'après les distances horizontale et verticale d'arrêt).

La résultante des forces d'écrasement est entièrement définie par sa grandeur et sa direction. Le signe algébrique de l'angle de la résultante des forces d'écrasement est positif lorsque la ligne d'action de la résultante se trouve au-dessus de l'horizontale; il est négatif lorsque la ligne d'action se trouve au-dessous de l'horizontale.

5. Assiette à l'impact - C'est l'assiette de l'aéronef au moment de l'impact initial. Les éléments à considérer pour déterminer l'assiette à l'impact sont les suivants:

(a) Tangage: capot au-dessus ou au-dessous de l'horizon

(b) Lacet: capot à droite ou capot à gauche

(c) Roulis: inclinaison à droite ou à gauche

L'assiette à l'impact doit être déterminée aussi précisément que possible en nombre de degrés. La somme algébrique de l'angle de tangage de l'aéronef est négative lorsque le capot pointe au-dessous de l'horizon et positive lorsqu'il pointe au-dessus de l'horizon.

6. Angle des forces d'écrasement

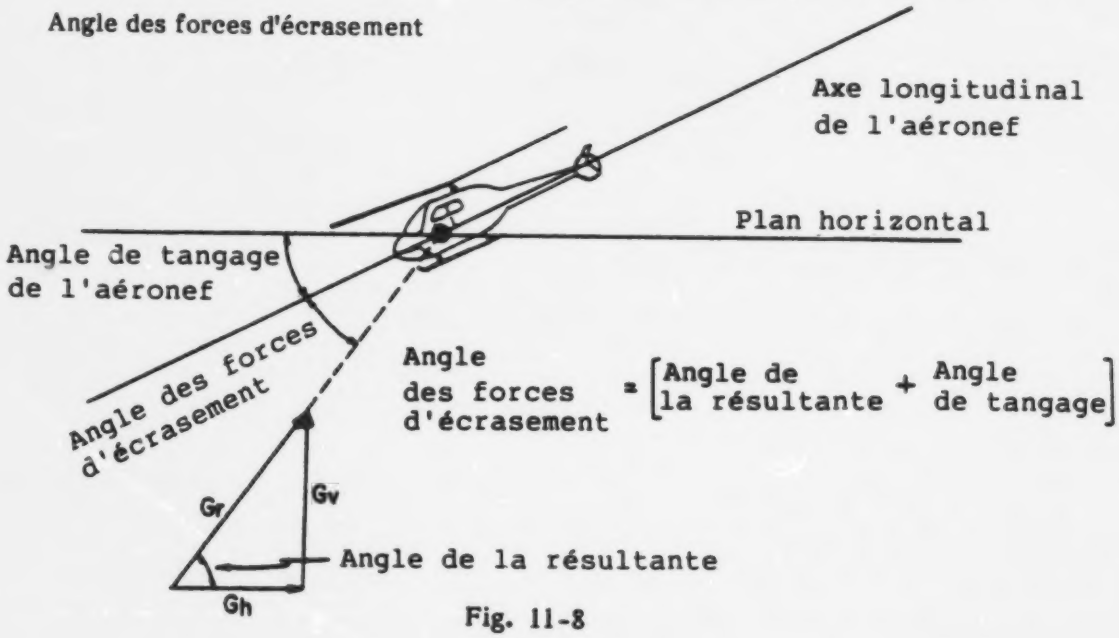


Fig. 11-8

L'angle situé entre la résultante des forces d'écrasement et l'axe longitudinal de l'aéronef est l'angle des forces d'écrasement.

Dans le cas d'une force d'impact avec une petite composante latérale, l'angle des forces d'écrasement est la somme algébrique de la résultante de l'angle des forces d'écrasement et de l'angle de tangage de l'aéronef.

Accélération

Lorsqu'on mène une enquête sur un accident d'hélicoptère ou de tout autre type de véhicules, que ce soit un aéronef ou une automobile, il importe de comprendre l'utilisation des relations mathématiques qui se rapportent au phénomène d'accélération. Ces notions deviennent particulièrement utiles au cours d'une enquête sur les chances de survie puisqu'une partie de la définition de la possibilité de survie met en jeu des forces d'accélération.

L'accélération peut être définie comme la rapidité de variation de la vitesse. Chaque fois qu'une variation de vitesse se produit, il y a également accélération. Les accélérations peuvent être soit une augmentation soit une diminution de la vitesse et, dans ce dernier cas, on les appelle parfois décélérations. Bien qu'il y ait deux types essentiels d'accélération, à savoir l'accélération linéaire, qui est une simple variation de vitesses sans changement de la direction du mouvement, et l'accélération tangentielle, qui est une variation de la vitesse de rotation et peut être également caractérisée par un changement du sens de rotation, cette dernière sorte d'accélération ne sera pas traitée dans cette partie du présent ouvrage. L'accélération (rapidité de variation de la vitesse) peut être constante dans le temps (accélération constante) ou varier avec lui (accélération variable). Mathématiquement, l'accélération peut être représentée sous la forme

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

égalité dans laquelle v est égal à la variation de vitesse et t à la variation de la période de temps pendant laquelle la variation de vitesse se produit.

<u>Termes et symboles relatifs à l'accélération linéaire</u>

V_o = vitesse initiale, c'est-à-dire vitesse au commencement de l'impact. L'indice "o" se rapporte au temps o au commencement de l'impact.

V_f = vitesse finale, est la vitesse à la fin de l'impact. Souvent, un accident se caractérise par un impact comportant plusieurs accélérations de valeur définie, la dernière accélération étant la seule à correspondre à la vitesse finale de o.

S = distance en pieds (pi)

T = temps en secondes (s)

V = vitesse, habituellement mesurée en pieds par seconde

a = accélération. C'est la rapidité de changement de vitesse en pieds par seconde $\frac{pi}{s^2}$

g = accélération de la gravité. La valeur de l'accélération de la gravité est d'environ
32,2 $\frac{pi}{s^2}$

G = rapport d'une accélération quelconque, "a" à l'accélération de la gravité "g"
$G = \frac{a}{g}$

G est également utilisé pour indiquer la grandeur d'une force.

$F = M\,a = M\,G\,g$

$M = \frac{w}{g}$, donc $Mg = W$, donc $F = WG$ (où W = poids)

À peu près dans le même sens, le symbole G peut aussi être utilisé pour désigner une résistance. Dans ce cas, il se réfère à la force qu'un élément de structure ou un dispositif d'assujettissement peut encaisser.

Équations du mouvement à accélération constante

1. $V_f = V_o + at$ Si le mouvement commence à partir de l'état de repos ($V_o = O$) ou se termine par l'état de repos ($V_f = O$), l'équation devient alors $Vf = at$ ou $V_o = at$, respectivement.

2. $S = V_o\,t + 1/2\,at^2$ Encore une fois, si le mouvement commence ou se termine par l'état de repos, l'équation devient $S = 1/2\,at^2$

3. $V_f^2 = V_o^2 + 2\,aS$ Dans les calculs d'accélération à l'impact, ces relations sont utiles. Les quantités connues sont:

   s, qui est la distance d'arrêt mesurée pendant l'enquête sur l'accident.

   V_f, qui est la vitesse en fin de parcours, après que l'aéronef a franchi la distance "s", V_o étant la vitesse initiale de l'aéronef.

Si la quantité inconnue est l'accélération "a", on obtient alors algébriquement:

$$a = \frac{V_f^2 = V_o^2}{}$$

Si l'on recherche l'accélération en G:

$$G = \frac{a}{g} = \frac{a}{32,2}$$

$$G = \left(\frac{V_f^2 - V_o^2}{2 \times 32,2 \times s}\right)$$

Donc,
$$G = \left(\frac{V_f^2 - V_o^2}{64,4\ s}\right)$$

ou, pour simplifier les calculs:

$$G = \left(\frac{V_f^2 - V_o^2}{64\ s}\right)$$

La durée pendant laquelle un corps a été soumis à une accélération est souvent intéressante à connaître. Cette durée, exprimée en secondes, peut être déterminée au moyen de l'une des équations suivantes:

$$t = \frac{V_o - V_f}{a}$$

$$t^2 = \frac{2s}{a} \text{ ou } t = \sqrt{\frac{2s}{a}}$$

$$t^2 = \frac{2s}{32G} \text{ ou } t = \sqrt{\frac{2s}{32G}}$$

<u>Méthode de résolution des problèmes relatifs aux forces d'écrasement</u>

1. Tracer les quantités connues.

2. Convertir les quantités connues en unités de dimension normales.

   Distances = pieds

   Vitesses = pi/s

3. Déterminer l'importance de la composante de vitesse.

   (a) Parallèle à la surface d'impact

   (b) Perpendiculaire à la surface d'impact

4. Déterminer la distance d'arrêt.

   (a) Parallèle à la surface d'impact

   (b) Perpendiculaire à la surface d'impact

5. Déterminer les composantes de l'accélération.

   (a) Parallèle à la surface d'impact

   (b) Perpendiculaire à la surface d'impact

6. Déterminer l'importance de l'accélération résultante et la direction par rapport à la surface d'impact.

7. Déterminer la direction de l'accélération résultante par rapport aux axes de l'aéronef.

Exemple: Problème 1 - Un hélicoptère s'écrase dans un champ horizontal sans obstacle. L'angle de trajectoire de vol est de 10° et la vraie vitesse de l'air est de 85 mi/h. L'impact initial se produit au niveau du fuselage (angle de tangage nul). L'impact creuse un sillon de deux pieds de profondeur qui s'arrête à 25 pieds du point d'impact initial. Le fuselage a été enfoncé de 12 pouces verticalement et de 5 pieds horizontalement. Déterminer:

1. la vitesse sol de l'aéronef (V_h) et la vitesse verticale (V_v) en pieds par seconde;

2. les accélérations verticale et horizontale moyennes en G;

3. l'importance et la direction de la résultante moyenne des forces d'écrasement.

Solution:

1. Pour déterminer V_h et V_v

   (a) tracer les paramètres d'impact

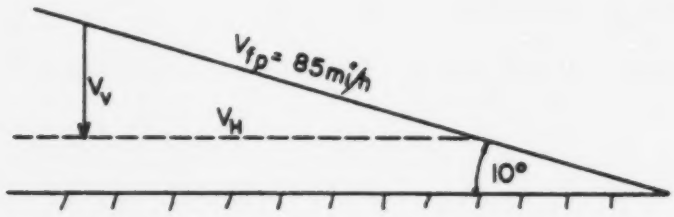


Fig. 11-9

   (b) convertir la vitesse de 85 mi/h en pieds par seconde: 85 mi/h = 125 pi par seconde

   (c) déterminer les vitesses verticale et horizontale

   1. $\sin 10° = \dfrac{V_v}{V_{f_p}}$

      $V_v = V_{f_p} \text{ X } \sin 10°$

      $V_v \text{ X } 125 \text{ X } 0{,}174 = 21{,}7$ pieds par seconde

   2. $\cos 10° = \dfrac{V_h}{V_{f_p}}$

      $V_h = V_{f_p} \text{ X } \cos 10°$

      $V_h \text{ X } 125 \text{ X } 0{,}985 = 125$ pieds par seconde

2. Pour déterminer G_v et G_h

(a) déterminer les distances verticale et horizontale d'arrêt

1. distance verticale d'arrêt

= 2 pi (ornière) + 1 pi (cellule) = 3 pi

(b) déterminer les accélérations (G) verticale et horizontale

1. puisque l'aéronef s'immobilise, on utilise l'équation simplifiée

$$G = \frac{V^2}{64\ s}$$

$$G_v = \frac{(21,7)^2}{64 \times 3} = 2,45\ G$$

$$G_h = \frac{(123)^2}{64 \times 30} = 7,87\ G$$

3. Pour déterminer l'accélération résultante:

(a) tracer les vecteurs représentant les accélérations à l'impact

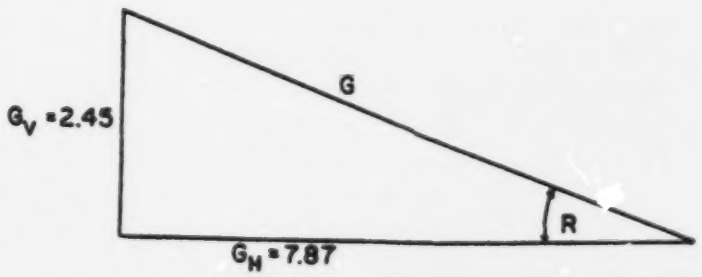


Fig. 11-10

Le sens de l'accélération résultante peut être déterminé par la fonction trigonométrique de la tangente:

$$\text{tg } R = \frac{G_v}{G_h} = \frac{2,45}{7,87} = 0,311$$

Donc: angle R = 17,3°

La valeur de l'accélération résultante peut être déterminée par le cosinus

$$\cos 17,3° = \frac{7,87}{G_R}$$

$$G_R = \frac{7,87}{\cos 17,3°} = 8,25 \text{ G}$$

Forces de décélération

Les équations et le mode de solution du problème que nous avons indiqués dans les parties précédentes se rapportent aux décélérations constantes. Dans le cas de la cinématique réelle d'un écrasement d'aéronef il est très rare que les valeurs de la décélération soient constantes. Par conséquent, il devient nécessaire de comprendre les relations qui, dans divers cas d'impact, lient à la durée les valeurs relatives au déplacement, à la vitesse et à l'accélération. La figure 11-11 montre une courbe de l'accélération en fonction du temps dans les conditions réelles d'un impact.

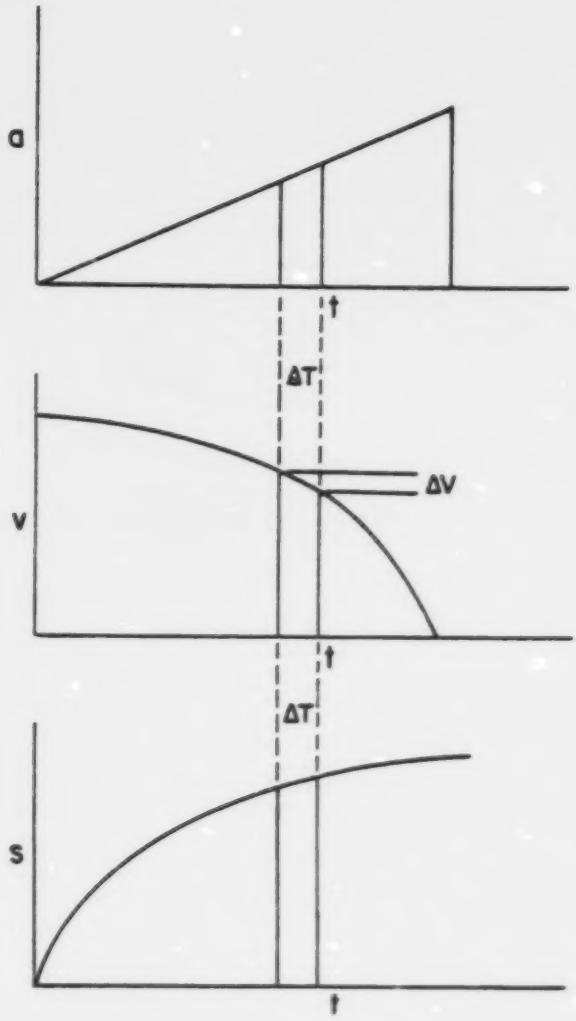


Fig. 11-11

Immédiatement au-dessous de la courbe d'accélération en fonction du temps "a" figure la courbe de la vitesse en fonction du temps "v", figure 11-11. Au cours d'une période de temps quelconque (Δt) prise le long de la courbe d'accélération en fonction du temps, la hauteur de la courbe "at" est égale à la pente de la courbe "vt", la pente de la courbe "vt" était égale à $\frac{\Delta v}{\Delta t}$

Par conséquent, la pente maximale de cette courbe correspond au maximum d'accélération, qui se produit à la fin de l'impact.

Il convient également de noter que l'aire située sous la courbe d'accélération en fonction du temps pendant la période Δt est égale à A X $\Delta t = \Delta v$.

Le bas de la courbe montre la relation existant entre la distance (s) et le temps (t). La pente de la courbe "st" doit être égale à la hauteur de la courbe "vt" et, de ce fait, lorsque la courbe "vt" est une courbe secondaire, la courbe "st" devient une courbe tertiaire.

Puisque la hauteur de la courbe "at" est numériquement égale à la pente de la courbe "vt", $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ et, puisque la hauteur de la courbe "vt" est égale à la pente de la courbe "st", $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

Puisque $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ de ce fait $v - \Delta t$.

Si l'on fait la somme de tous les changements de temps (Δt), la variation totale de vitesse se représente par l'aire placée sous la courbe "at". La même condition existe entre les courbes "vt" et "st", autrement dit le changement total de position correspond à l'aire située sous la courbe "vt". Par conséquent,

$v_o = 1/2$ at $t = 2v_o$ $\quad s = 2/3\ v_o t = 2/3\ v_o \times 2v_o$

$\frac{}{a} \quad = 4/3\ \frac{v_o 2}{a} = \quad \frac{4v_o 2}{3a}$

Par conséquent, les équations relatives à la durée de l'impact, au niveau de décélération et à la distance d'arrêt, dans ce type d'impact, en supposant que $v_f = 0$, deviennent

Durée de l'impact: $t = \frac{2v_o}{32,2\ G}$

Niveau de décélération: $G = \frac{4v_o 2}{96,6\ s}$

Distance d'arrêt: $S = \frac{4v_o 2}{96,6\ G}$ ou $S = \frac{32,2\ Gt^2}{3}$

Les équations de décélération relatives aux différentes sortes d'impact sont résumées dans les cas où $v_f = 0$ et lorsque v_f n'est pas égal à 0 ($V_f \neq 0$) dans les pages suivantes: il n'y a pas lieu de mémoriser ces formules. L'auteur a l'habitude d'emporter dans sa serviette un document contenant ces équations. La résolution d'un problème devient alors une simple question de collecte de données et d'application numérique.

ÉQUATIONS DE DÉCÉLÉRATION

DANS LE CAS OÙ $V_{final} = 0$

1. DÉCOMPOSITION DES FORCES PAR LA MÉTHODE RECTANGULAIRE

Décélé. G temps

Vélocité Vo t temps

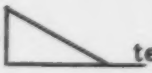
Durée de l'impact: $t = \frac{Vo}{32,2\ G}$

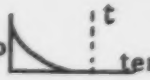
Niveau de décélération: $G = \frac{Vo^2}{64,4S}$

Distance d'arrêt: $S = \frac{Vo^2}{64,4G}$

Ou: $S = \frac{32,2Gt^2}{2}$

II. DÉCOMPOSITION DES FORCES PAR LA MÉTHODE TRIANGULAIRE - EXEMPLE N° 1

Décélé. G  temps

Vélocité Vo  t temps

Durée de l'impact: $t = \frac{2Vo}{32,2\ G}$

Niveau de décélération: $G = \frac{2Vo^2}{96,6S}$

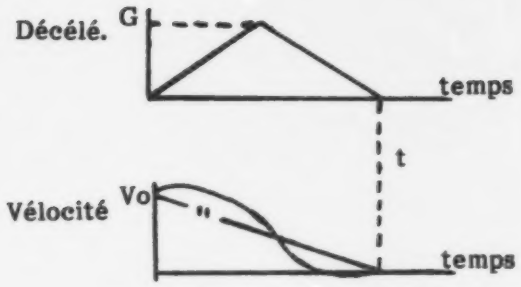
Distance d'arrêt: $S = \frac{2Vo^2}{96,6G}$

Ou: $S = \frac{32,2Gt^2}{6}$

ÉQUATIONS DE DÉCÉLÉRATION

DANS LE CAS OÙ $V_f = 0$

III. DÉCOMPOSITION DES FORCES PAR LA MÉTHODE TRIANGULAIRE EXEMPLE N° 2



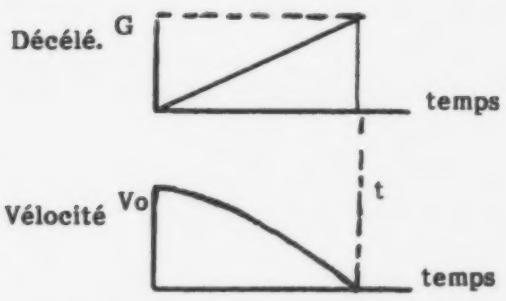
Durée de l'impact: $t = \frac{2Vo}{32,2\ G}$

Niveau de décélération: $G = \frac{Vo^2}{32,2S}$

Distance d'arrêt: $S = \frac{Vo^2}{32,2G}$

Ou: $S = \frac{32,2Gt^2}{4}$

IV. DÉCOMPOSITION DES FORCES PAR LA MÉTHODE TRIANGULAIRE EXEMPLE N° 3



Durée de l'impact: $t = \frac{2Vo}{32,2\ G}$

Niveau de décélération: $G = \frac{4Vo^2}{96,6S}$

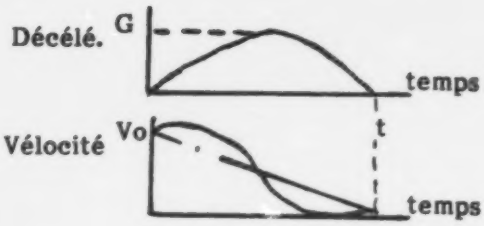
Distance d'arrêt: $S = \frac{4Vo^2}{96,6G}$

Ou: $S = \frac{32,2Gt^2}{3}$

ÉQUATIONS DE DÉCÉLÉRATION

DANS LE CAS OÙ $V_f = 0$

V. DÉCOMPOSITION DES FORCES PAR LA MÉTHODE DU DEMI-SINUS



Durée de l'impact: $t = \frac{1,57Vo}{32,2G}$

Niveau de décélération: $G = \frac{0,7854Vo^2}{32,2S}$

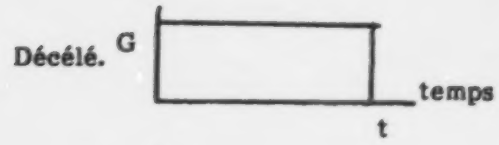
Distance d'arrêt: $S = \frac{0,7854Vo^2}{32,2G}$

Ou: $S = \frac{32,2Gt^2}{3,14}$

ÉQUATIONS DE DÉCÉLÉRATION

DANS LE CAS OÙ $V_f \neq 0$

I. DÉCOMPOSITION DES FORCES PAR LA MÉTHODE RECTANGULAIRE



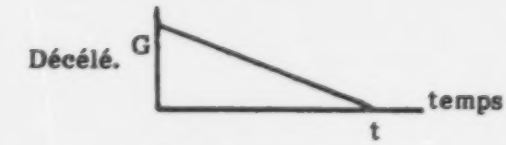
Durée de l'impact: $t = \frac{Vo - Vf}{32,2G}$

Niveau de décélération: $G = \frac{Vo^2 - Vf^2}{64,4S}$

Distance d'arrêt: $S = \frac{Vo^2 - Vf^2}{64,4G}$

Ou: $S = Vot - \frac{32,2\ Gt^2}{2}$

II. DÉCOMPOSITION DES FORCES PAR LA MÉTHODE TRIANGULAIRE - EXEMPLE N° 1



Durée de l'impact: $t = \frac{2\ (Vo - Vf)}{32,2G}$

Niveau de décélération: $G = \frac{2\ Vo^2 + 2VoVf - 4Vf^2}{96,6S}$

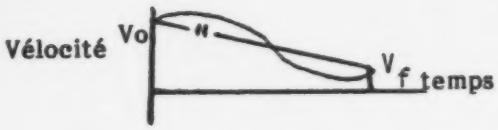
Distance d'arrêt: $S = \frac{2\ Vo^2 + 2VoVf - 4Vf^2}{96,6G}$

Ou: $S = Vot - \frac{32,2\ Gt^2}{3}$

ÉQUATIONS DE DÉCÉLÉRATION

DANS LE CAS OÙ $V_f \neq 0$

III. DÉCOMPOSITION DES FORCES PAR LA MÉTHODE TRIANGULAIRE - EXEMPLE N° 2



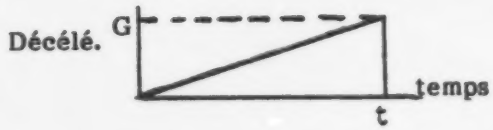
Durée de l'impact: $t = \frac{2 (Vo - Vf)}{32,2G}$

Niveau de décélération: $G = \frac{Vo^2 - Vf^2}{32,2S}$

Distance d'arrêt: $S = \frac{Vo^2 - Vf^2}{32,2G}$

Ou: $S = Vot - \frac{32,2\ Gt^2}{4}$

IV. DÉCOMPOSITION DES FORCES PAR LA MÉTHODE TRIANGULAIRE -EXEMPLE N° 3



Durée de l'impact: $t = \frac{2 (Vo - Vf)}{32,2G}$

Niveau de décélération: $G = \frac{4\ Vo^2 - 2VoVf - 2Vf^2}{96,6S}$

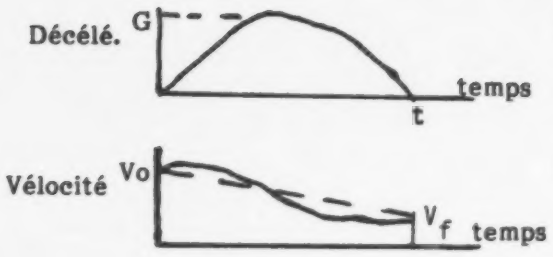
Distance d'arrêt: $S = \frac{4\ Vo^2 - 2VoVf - 2Vf^2}{96,6G}$

Ou: $S = Vot - \frac{32,2\ Gt^2}{6}$

ÉQUATIONS DE DÉCÉLÉRATION

DANS LE CAS OÙ $V_f \neq 0$

V. DÉCOMPOSITION DES FORCES PAR LA MÉTHODE DU DEMI-SINUS



Durée de l'impact: $t = \frac{1,57\ (Vo - Vf)}{32,2G}$

Niveau de décélération: $G = \frac{0,7854\ (Vo^2 - Vf^2)}{32,2S}$

Distance d'arrêt: $S = \frac{0,7854\ (Vo^2 - Vf^2)}{32,2G}$

Ou: $S = Vot - \frac{32,2Gt^2}{3,14}$

Coefficient de frottement

Le coefficient de frottement (N) définit la relation existant entre la force de frottement (f) et la force normale (N) (habituellement due à la gravité)

$$u = \frac{f.}{N.}$$

L'importance du coefficient de frottement dépend de N, la nature des matériaux en contact. À titre d'exemple, si la force de frottement est de 2500 livres et le poids du véhicule de 2500 livres, le coefficient de frottement sera égal à 1,0. Dans les conditions réelles du glissement au sol d'une épave d'aéronef, il serait possible de déterminer le coefficient de frottement en mesurant l'importance de la force nécessaire pour tirer cette épave, et en divisant ce résultat par le poids réel de l'épave. Il convient de noter que le coefficient serait différent selon qu'il s'agirait d'un frottement statique ou d'un frottement par glissement, mais quand on détermine l'importance d'une décélération produite par un accident, c'est le frottement glissant qui est à considérer. Si par exemple un hélicoptère pesant 10 000 livres a traversé un champ en glissant au sol, il serait possible de tirer l'épave de cet hélicoptère à travers le même terrain et de mesurer l'importance de la force nécessaire, donc de déterminer le coefficient de frottement.

Connaître ou estimer le coefficient de frottement est très utile dans l'application des deux équations suivantes:

$$V_o = \sqrt{2gNS}$$

$$V_f = \sqrt{V_o^2 - 2gNS}$$

Exemple de problème: Un hélicoptère de 8000 livres traverse un bosquet en vol horizontal, comme le montre la figure 11-12, et dérape pendant encore 39 pieds avant de s'immobiliser. Déterminer la forme de l'impact, l'accélération maximale et la durée de l'accélération.

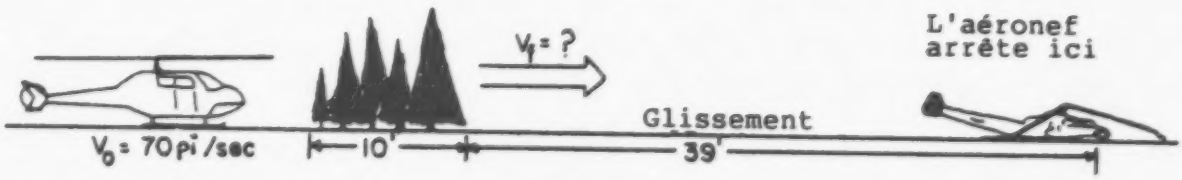


Fig. 11-12

SOLUTION: Il faut noter que l'impact principal se produit dans les 10 premiers pieds, par conséquent V_f n'est pas égal à 0. Malheureusement, V_f est inconnu et doit donc être calculé. Si le coefficient moyen de frottement pendant les 39 pieds de glissade au sol est estimé à 1,0, l'équation $V_f = 2gN\,S$ peut être appliquée. Par conséquent, $V_f = \sqrt{2 \times 32{,}2 \times 1 \times 39} = \sqrt{2500} = 50$ pieds par seconde. On peut supposer que le diagramme de décomposition des forces d'impact serait un triangle du type 3 et, par conséquent, G =

$$\frac{4V_o^2 - 2V_oV_f2}{96{,}6\,S}$$

Par conséquent G = 7,8

Absorption de l'énergie

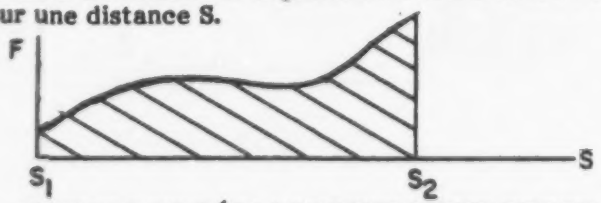
L'application des techniques relatives à l'absorption de l'énergie devient de plus en plus importante en fait de protection des équipages d'aéronefs. Les sièges, les dispositifs d'assujettissement, les trains d'atterrissage, et même la structure de l'aéronef lui-même, ont été conçus d'après ces techniques. L'enquêteur sur les accidents a par conséquent besoin de comprendre les principes relatifs à l'énergie et à son absorption. Cette compréhension lui permet d'évaluer les techniques d'absorption de l'énergie et d'en recommander s'il y a lieu l'emploi.

Le principe de l'énergie découle de la seconde loi de Newton. Cette loi précise que si une force agit sur un corps, celui-ci sera soumis à une accélération; l'importance de l'accélération est proportionnelle à la grandeur de la force et le sens de l'accélération s'exerce dans le sens de cette force.

Quand une seule force agit sur un corps, il en résulte une accélération. Le corps accélère dans le sens d'action de la force. L'importance de l'accélération est proportionnelle à la grandeur de la force et, dans une certaine mesure, à la nature du corps qui n'a pas encore été spécifiée. Puisque la force et l'accélération sont toutes deux des quantités vectorielles, la seconde loi de Newton peut s'écrire sous la forme de l'équation suivante:

$F = Ma$, dans laquelle M = masse

La figure 11-13 montre la courbe de déplacement d'une force lorsque cette force F déplace la masse sur une distance S.



COURBE DE DÉPLACEMENT D'UNE FORCE

Fig. 11-13

L'aire se trouvant sous la courbe FS de la figure 9-13 est égale à la quantité de travail effectué, qui est aussi égale au changement d'énergie cinétique (l'énergie cinétique a pour valeur 1/2 de MV^2), par conséquent le travail = KE2 - KE1 = KE. Cela montre que la seule façon d'ôter l'énergie d'un corps (en diminuant sa vitesse) est d'exercer une force sur ce corps lorsqu'il est en mouvement. C'est ce qu'on peut faire en employant une structure ou des matériaux écrasables, ce qui donne lieu à une courbe de déplacement de force comme celle de la figure 11-14, qui est caractéristique des matériaux en nid d'abeilles.

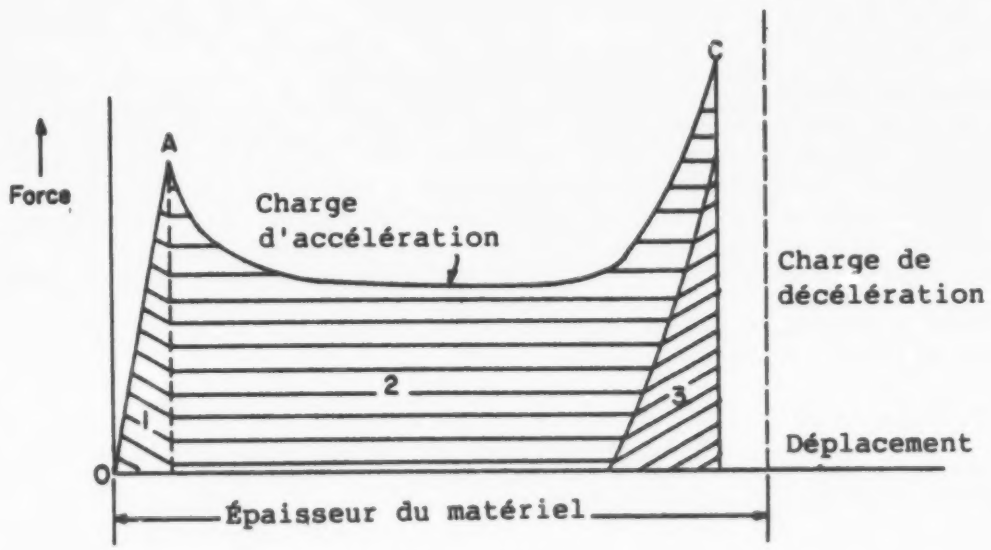


Fig. 11-14

Une courbe de déplacement des forces auxquelles est soumis un matériau idéal d'absorption de l'énergie est représentée dans la figure 11-15. Dans cette courbe, la vitesse est réduite du fait d'une décélération constante et si A est constant, F = MA est alors constant.

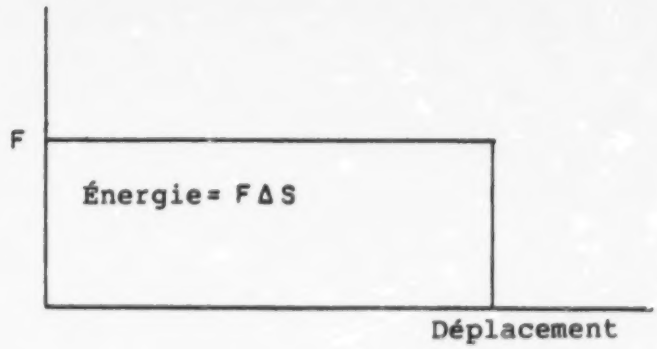


Fig. 11-15

Certains matériaux, les structures en nid d'abeilles par exemple, de même qu'un certain nombre de mousses, ont des caractéristiques proches de cette courbe idéale de déplacement des forces, ainsi que le montre la figure 11-14. L'aire située sous la courbe représente le total de l'énergie absorbée mais comme les contraintes cessent, l'énergie de l'aire 3 est restituée sous la forme de rebond. La contrainte représentée dans la partie de la courbe située entre B et C est souvent appelée "talonnage", un cas dans lequel la structure ou le matériel déformé est devenu compact, après quoi la contrainte augmente rapidement avec très peu de déformations supplémentaires. Dans certains cas, la petite aire de contraintes maximales, en A, peut être supprimée par un certain écrasement préalable du matériau.

La figure 11-16 montre une courbe de déplacement des forces du type qui peut caractériser des matériaux très élastiques, par exemple la mousse de caoutchouc. On doit noter que l'énergie totale est restituée au cours du rebond, ce qui fait que ce genre de matériau est à écarter comme moyen d'absorption d'énergie.

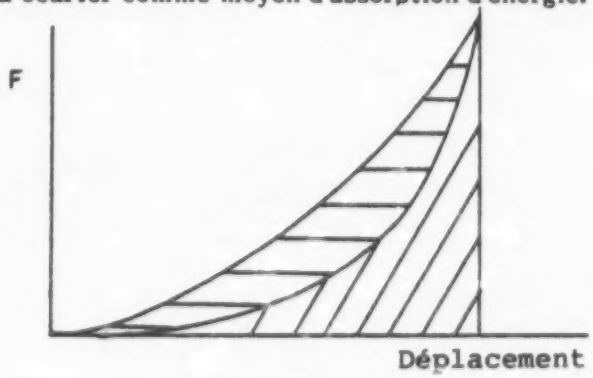


Fig. 11-16

CHAPITRE XII

POSSIBILITÉS DE SURVIE À LA SUITE D'UN ACCIDENT D'HÉLICOPTÈRE

"Des passagers peuvent être et sont effectivement transportés en sécurité par les avions, qui en ont pris à bord jusqu'à sept à la fois. En principe, ces voyages n'ont d'autre but que le plaisir de se livrer à une nouvelle expérience, mais à plusieurs reprises des médecins ont émis l'idée que les avions présentaient le plus grand intérêt pour ceux qui, le plus vite possible, doivent parcourir une longue distance. Comme les avions se déplacent rapidement à une vitesse de soixante à soixante-quinze milles à l'heure et qu'ils peuvent se rendre en ligne droite d'un point à un autre, il est au besoin possible de leur faire transporter un passager ou du courrier.

Pendant la guerre, les avions ont également joué un rôle très important et, quoique leur intérêt réel pour la conduite des opérations a suscité des controverses jusqu'à ce qu'ils aient effectivement fait leurs preuves, ils se sont maintenant révélés d'une grande utilité dans le déroulement des hostilités. Il arrive qu'un avion soit touché par un obus et descendu au sol mais, même si le pilote est tué, la perte d'une seule machine et d'un seul pilote importe peu eu égard au service rendu. De plus, l'avion ennemi, ou même l'aviateur qui tombe, peut tuer ou mettre hors de combat un certain nombre d'ennemis, ce qui fait qu'un aviateur mort ou un appareil désemparé est beaucoup plus dangereux qu'un appareil en vol."

Harper's Aircraft Book 1913

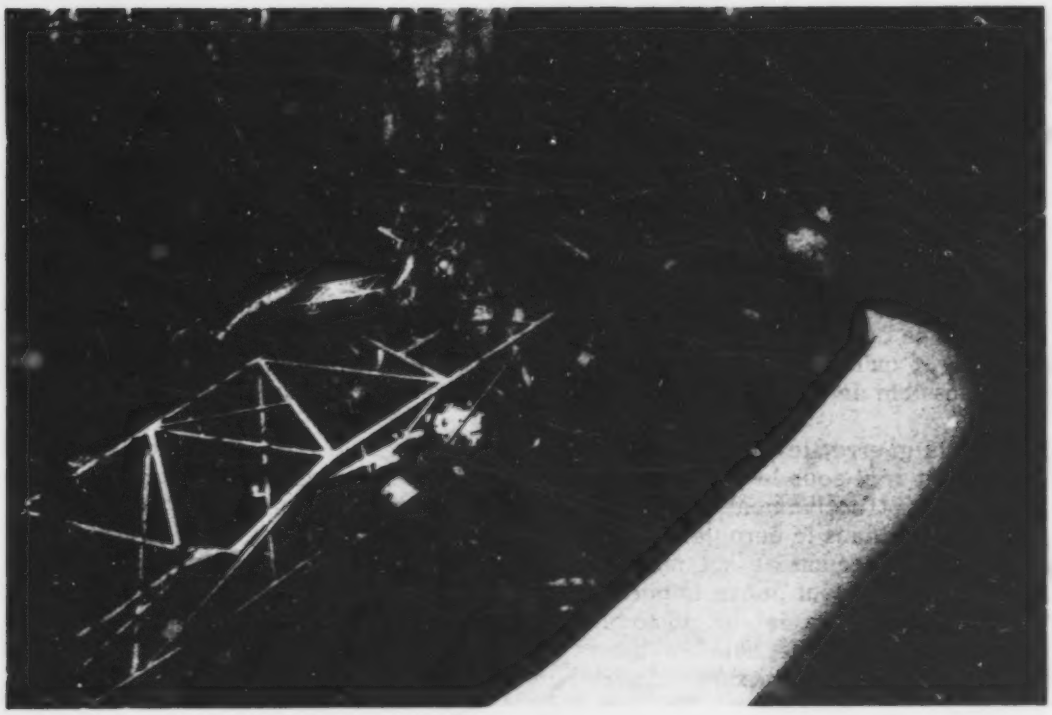


Photo 12-1

De toute évidence les possibilités des aéronefs se sont considérablement améliorées depuis que ce passage a été écrit. Toutefois, notamment en ce qui concerne les aéronefs civils, il semblerait qu'on se soit peu préoccupé des moyens de protection de la vie humaine, qui se limitent à l'assujettissement de l'aviateur dans son appareil de façon à l'empêcher de tomber durant les manoeuvres violentes. Ce n'est heureusement pas le cas des hélicoptères militaires dans lesquels, grâce aux efforts de nombreux chercheurs dévoués, les chances de survie d'un pilote dont l'appareil est soumis à un impact ont considérablement augmenté pendant ces dernières années. Cependant, de nombreux hélicoptères, tant civils que militaires, sont de conception ancienne et comme telle dépourvus des dispositifs plus récents qui permettent de survivre à un accident.

En matière de sécurité aéronautique, la situation utopique est un taux d'accident nul dans toutes les spécialités du pilotage, et de nombreuses organisations consacrent beaucoup de temps et d'énergie à essayer d'atteindre cet objectif. Cependant, même avec le meilleur entraînement et les équipements les plus complexes, des accidents peuvent se produire par suite d'une défaillance d'un élément quelconque du système. C'est pourquoi on ne saurait trop insister sur l'importance de meilleures caractéristiques de résistance à l'impact. Il y a peu de choses aussi tragiques que la perte d'une vie lorsqu'elle aurait pu ne pas se produire.

La résistance à l'impact, comme on le mentionne au chapitre 11, peut être définie comme "l'aptitude de la structure primaire d'un aéronef d'assurer une protection aux occupants au cours d'un impact avec chances de survie. Un impact est considéré comme laissant des chances de survie dans la partie de l'habitacle où les forces d'écrasement se trouvent dans les limites de la tolérance humaine tandis que la structure de l'appareil demeure raisonnablement intacte". Bien que la force d'écrasement de la plupart des accidents s'exerce obliquement par rapport à la trajectoire de vol, il est d'usage courant de décomposer la résultante des forces d'écrasement en composantes verticale et horizontale et de relier ces résultantes au niveau de tolérance humaine, soit parallèlement soit transversalement par rapport à la colonne vertébrale. Une personne normalement assise, quand elle est bien assujettie, peut tolérer sans mal ou avec peu de mal, environ quarante-cinq G sur la colonne vertébrale, vingt-cinq G parallèlement à celle-ci dans le sens pieds-tête (accélération positive), quinze G parallèlement à la colonne vertébrale dans le sens tête-pieds (accélération négative) et vingt G de flanc à flanc (contrainte latérale comme la figure 12-1 les résume).

Tolérance humaine aux accélérations

(dans le cas d'un passager bien assujetti)

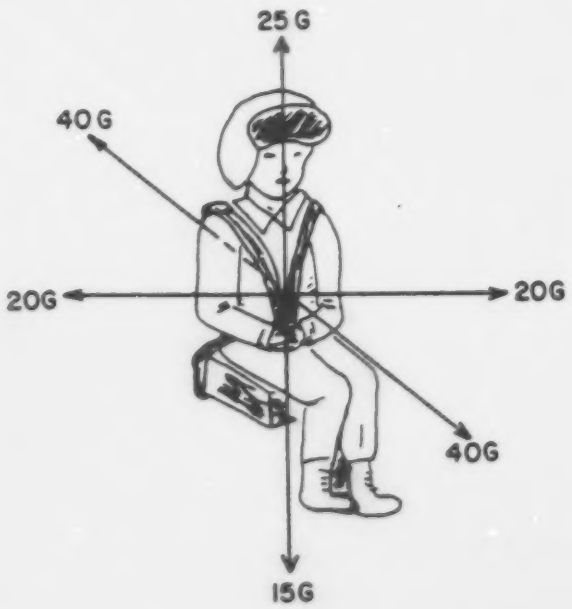


Fig. 12-1

Les données sur la tolérance humaine obtenues à partir d'analyses sur les accidents avec chances de survie qui se sont produits dans les Forces armées américaines, outre d'autres informations obtenues par l'expérience, montrent que la tolérance ne dépend pas seulement de l'importance de l'accélération mais aussi de sa durée. C'est pourquoi il n'est pas possible de définir complètement la tolérance en faisant seulement état du nombre de G et de la durée de l'accélération. Les méthodes d'évaluation de l'hostilité de l'environnement, en fait de tolérance humaine, supposent le calcul mathématique de plusieurs variables, suivi d'une évaluation empirique du nombre de blessures. Le nombre qui en résulte est appelé indice de gravité des lésions.

Les données de la figure 12-1 représentent un cas limite d'accélération. On doit se souvenir qu'il y a un nombre infini d'autres cas possibles qui donneront lieu à des lésions, notamment les accidents caractérisés par de plus grandes accélérations pendant une moindre durée ou par de moindres accélérations pendant une plus grande durée. Cependant, ces limites sont présentées comme moyen de comparaison dans ce schéma simplifié à l'excès.

Limites de tolérance à l'accélération positive (dans le sens pieds-tête)

La limite de tolérance humaine à l'accélération dans le sens pieds-tête est d'environ 0,1 seconde. Les blessures, surtout les fractures primaires par compression des vertèbres, peuvent éventuellement se produire dans ce cas. Ces fractures peuvent ne pas être d'une gravité telle qu'elles empêchent la victime de quitter l'hélicoptère par ses propres moyens. La tolérance à un impact vertical est considérablement réduite lorsque la colonne vertébrale est pliée ou désaxée. Pour cette raison, un dossier de siège de forme convenable et de bons harnais plaquant bien le passager contre le dossier de son siège ont beaucoup d'importance en fait de tolérance à l'accélération positive.

Limites de tolérance à l'accélération antérieure - postérieure

Pour l'accélération contre la colonne vertébrale, la limite de tolérance humaine est d'environ 45 G pour une durée de 0,1 seconde ou de 25 G pour une durée de 0,2 seconde. La limite de tolérance humaine pour une accélération contre le sternum n'a pas été établie avec précision mais on peut sans grand risque d'erreurs supposer que cette tolérance est plus grande que pour l'accélération contre la colonne vertébrale. Au cours d'une expérience, on a atteint un maximum de 83 G pour une durée de 0,04 seconde avec siège dans le sens inverse de celui du déplacement; le sujet, qui a subi de très fortes commotions, a nécessité un traitement médical d'urgence. La tolérance humaine à l'accélération contre le sternum se situe donc probablement quelque part entre ce chiffre de 83 G pour 0,04 seconde et 45 G pour 0,1 seconde.

Limites de tolérance à l'accélération latérale

Bien qu'on ait effectué peu de recherches sur la tolérance humaine à l'accélération latérale, des volontaires, dans le cas particulier d'une expérience, ont été capables d'endurer une accélération moyenne d'environ 11,5 G pendant une durée approximative de 0,1 seconde sans subir de lésions laissant des séquelles. Il se peut que la limite de possibilités de survie d'un être humain se situe quelque part au-delà de ce point, peut-être vingt G pendant 0,01 seconde.

Impact de la tête et blessures en coup de fouet

La commotion est un important aspect de la tolérance humaine à l'accélération car elle peut immobiliser temporairement une personne, diminuant ainsi ses chances de survie en la soumettant aux dangers qui subsistent après l'écrasement. Les expériences montrent qu'environ 50 pour cent des possibilités de lésion cérébrale par choc sur une tête sans protection, sont directement proportionnelles aux mouvements de rotation de la tête et inversement proportionnelles à son mouvement de translation causé par l'impact, alors que, dans les 50 autres pour cent, elles sont directement proportionnelles au choc à l'impact.

Impact sur aéronefs à voilure tournante

Le plus remarquable, en ce qui concerne les impacts sur aéronefs à voilure tournante, c'est peut-être l'importance de la composante descendante de l'accélération, de la perforation de l'habitacle et du risque d'incendie dû à la proximité de matières inflammables et d'éléments du circuit d'allumage.

Variations de la vitesse verticale

Dans les études menées sur les accidents d'aviation réels, on a constaté que la médiane de la courbe de répartition des changements verticaux de vitesse correspondait à environ 24 pieds par seconde, la moitié des accidents présentant une valeur supérieure et l'autre moitié une valeur inférieure à ce chiffre. À titre de comparaison, 24 pieds par seconde représentent la vitesse atteinte par un corps en chute libre de 8 pieds 11 pouces. Quatre-vingt-quinze pour cent des accidents se sont produits avec des variations de vitesse verticale de moins de 42 pieds par seconde, ce qui correspond à une chute libre de 27 pieds 5 pouces.

Variations longitudinales de vitesse

De la même façon, la courbe de répartition des variations longitudinales de vitesse notées dans les accidents avec chances de survie mais dommages matériels importants et lésions corporelles, a été tracée. On a découvert que le point médian représentait une variation de vitesse d'environ 28 pieds par seconde, cette variation étant plus importante dans le cas de la moitié des accidents et moins importantes dans le cas de l'autre moitié. Quatre-vingt-quinze pour cent de ces accidents se sont produits avec des variations longitudinales de vitesse inférieures à 50 pieds par seconde.

Variations latérales de vitesse

Les variations latérales de vitesse qui se sont produites dans les accidents d'aviation n'ont pas été étudiées d'aussi près que les variations verticale et longitudinale; cependant, des travaux récents montrent qu'une valeur de 30 pieds par seconde constitue un chiffre réaliste dans le cas des aéronefs à voilure tournante.

Variations composites de vitesse

La résultante de la variation composite des vitesses longitudinale et verticale ne semble pas être supérieure à 50 pieds par seconde dans le cas de 95 pour cent des accidents d'hélicoptères ou d'avions légers offrant des chances de survie.

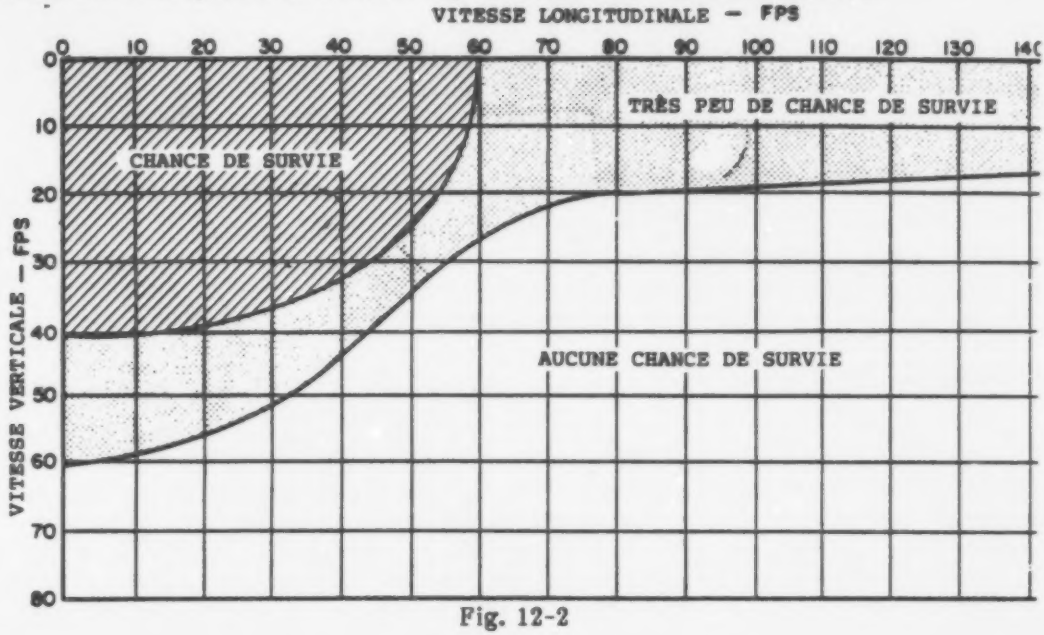


Fig. 12-2

Les principaux facteurs qui conditionnent la survie des occupants sont, en ce qui concerne les variations de vitesse dans un accident:

1. la vitesse initiale d'impact;

2. la variation de vitesse au cours de l'impact principal;

3. l'importance, la vitesse d'établissement et la durée de l'accélération subie par les occupants au cours de l'impact principal;

4. le sens de l'accélération par rapport à l'orientation des passagers.

La figure 12-2 résume les résultats d'une analyse de l'expérience acquise sur les accidents qui se sont réellement produits dans le cas d'aéronefs militaires et civils. Il n'y a que peu d'accidents d'aviation qui présentent des chances de survie lorsque l'écrasement s'est produit avec un seul impact. La plupart des accidents se caractérisent par un impact principal, le plus dangereux, suivi par un ou plusieurs impacts secondaires. Habituellement, si un hélicoptère peut résister à l'impact principal, il y a de grandes chances que la structure assure une protection suffisante pendant les impacts secondaires. Si le fuselage se disloque sous le choc de l'accident, les occupants peuvent être écrasés tout de suite, éjectés de leur siège et ensuite traumatisés ou prisonniers à l'intérieur de l'épave. Pour les protéger contre cette

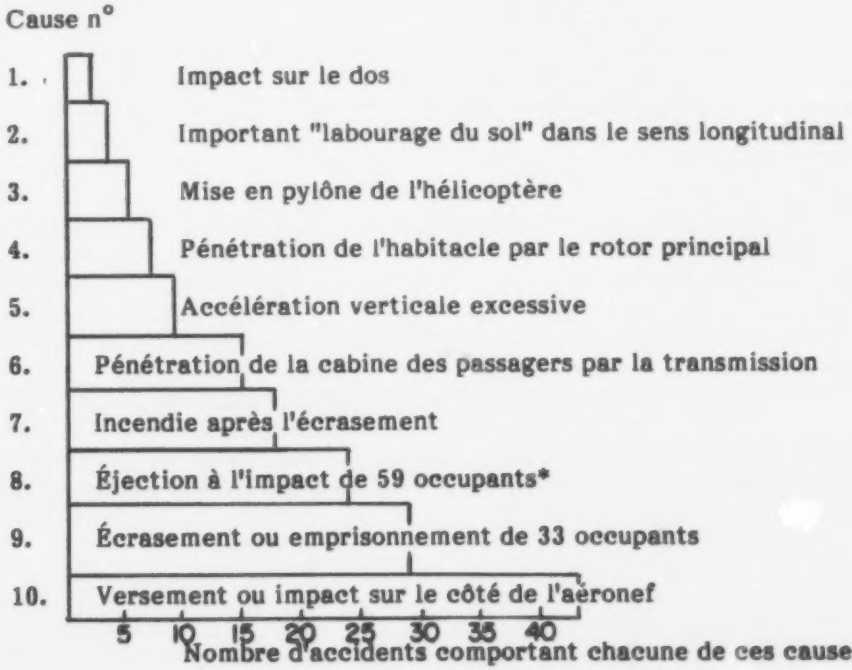
éventualité, la structure du fuselage devrait pouvoir absorber, sans perte d'espace vivable, environ 50 pour cent de l'énergie cinétique du choc initial dans le cas de vitesses pouvant être égales à la vitesse normale d'approche du type particulier d'hélicoptère dont il s'agit. Une partie de l'énergie peut être absorbée par le frottement entre l'appareil et la surface d'impact et par la déformation des structures dans les parties éloignées du volume habitable de l'aéronef.

Dans une étude effectuée par Haley, sur les accidents de 71 hélicoptères de servitude, on a constaté que sur les 434 personnes qui se trouvaient à bord, plus de la moitié ont reçu des blessures relativement légères; près d'un tiers d'entre elles ont été gravement blessées par le feu et le choc; 9,4 pour cent de ces passagers ont été tués à l'impact et 6,4 pour cent du fait de l'incendie. Les incendies qui se déclarent après l'écrasement ont doublé le facteur de mortalité. La figure 12-3 montre comment les événements se sont déroulés dans le cas de ces 71 accidents. Il convient de noter que les six derniers cas ont donné lieu à des lésions corporelles.

Synthèse des éléments relatifs à la cinématique,

à l'incendie et à la résistance du fuselage à l'écrasement

dans le cas de 71 accidents d'hélicoptères de servitude



*Faute d'avoir bouclé leurs ceintures 46 passagers ont été éjectés.

Fig. 12-3

FACTEURS À CONSIDÉRER PENDANT L'ENQUÊTE

Au cours de l'enquête sur les chances de survie dans un accident d'hélicoptère, on a, une nouvelle fois, systématisé la méthode à employer. Pendant leurs années d'expérience de l'évaluation des principales menaces contre la survie dans les accidents d'aviation, les professeurs de l'école des enquêteurs de l'université de l'État de l'Arizona ont défini les causes ci-après comme étant celles qui permettent d'adopter une méthode systématique d'enquête sur les chances de survie, ou, avant qu'un accident ne se produise, sur l'évaluation de la résistance à l'écrasement d'un aéronef donné.

Ces facteurs sont les suivants:

Qualité du fuselage

Qualité des moyens d'assujettissement

Nature de l'environnement

Qualité des moyens d'absorption de l'énergie

Facteurs consécutifs à l'écrasement

a. évacuation

b. incendie

Chacun de ces éléments fera l'objet de commentaires.

Cabine

La cabine, ou volume aménageable de l'hélicoptère, devrait être évaluée en tenant compte des tendances à "labourer" le sol, des qualités d'absorption de l'énergie des éléments de la structure et de l'aptitude de celle-ci à conserver son volume pendant la décélération.

Il importe de noter qu'un appareil n'a pas une meilleure résistance à l'écrasement parce qu'il est plus ou moins lourd. Plutôt que de renforcer les éléments du fuselage, le mieux est d'absorber l'énergie de l'impact d'une manière prévisible. À cet effet, divers dispositifs de limitation de la force d'impact, réalisés au moyen de matériaux ductiles, sont avantageux. La forme du couple du fuselage est également importante.

Haley a montré qu'une structure à couple circulaire offre beaucoup plus de résistance à l'écrasement qu'un fuselage rectangulaire. Il ne faut pas beaucoup d'imagination pour se rendre compte que si une boîte carrée tombe sur un de ses coins, elle risque de se casser alors que si un baril est largué de la même hauteur il résistera probablement à l'impact. La forme idéale d'un couple de fuselage d'hélicoptère serait par conséquent ovoïde, des systèmes de limitation des forces d'impact étant prévus entre le fond du fuselage et le plancher de la cabine pour absorber l'énergie avant que celle-ci ne se communique aux occupants. Le matériel absorbant l'énergie pourrait être la structure en nid d'abeilles ou des poutres ductiles disposées longitudinalement sous le plancher.

Les recommandations suivantes, visant à améliorer la conception du fuselage pour mieux protéger les occupants, sont tirées du guide intitulé "Crash Survival Design":

1. Les hélicoptères devraient être conçus de façon à résister à un impact latéral sur une surface rigide telle que le béton avec une variation de vitesse de 30 pieds par seconde. Ils devraient assurer la protection nécessaire dans le cas d'accidents avec rotation du fuselage de plus ou moins 20° autour de l'axe de lacet.

2. Dans les impacts verticaux d'aéronefs à voilure tournante, presque toute l'énergie cinétique de l'impact est absorbée par le fuselage et le train d'atterrissage. De ce fait, les aéronefs devraient être conçus de façon à résister à des forces verticales d'écrasement sur une surface rigide avec variations de vitesse d'impact de 42 pieds par seconde. Les aéronefs devraient assurer la protection nécessaire dans le cas d'accidents au cours desquels le fuselage pivote de plus ou moins 15° autour de l'axe de tangage et de plus ou moins 30° autour de l'axe de roulis.

3. Les aéronefs à voilure tournante devraient être conçus pour résister à un écrasement comportant une variation résultante de vitesse de 50 pieds par seconde. Cette force d'impact comprend toutes les composantes longitudinale et verticale dont la somme vectorielle atteint au plus 50 pieds par seconde avec composantes verticales de vitesse d'au plus 42 pieds par seconde. Elle comprend toutes les combinaisons de sommes vectorielles de composantes longitudinale et latérale jusqu'à 50 pieds par seconde au plus avec composantes latérales ne dépassant pas 30 pieds par seconde.

4. Afin de présenter un espace habitable permettant aux membres de l'équipage de survivre à un écrasement frontal de force raisonnable, les aéronefs à voilure tournante devraient être conçus pour résister à un impact longitudinal contre un mur ou une barrière rigide comportant une variation de vitesse à l'impact de 20 pieds par seconde.

5. Le fuselage et le train d'atterrissage devraient être construits de telle façon que l'effet du contact contre le sol après la perte du rotor anti-couple soit le plus faible possible; plus particulièrement, les hélicoptères devraient être conçus pour un impact sur un sol meuble à 60 noeuds de vitesse propre, 8 pieds par seconde de vitesse de descente, 20° de lacet, 10° de roulis, 20° de cabré

sans capotage. En cas de capotage dans ces conditions, l'habitacle de l'hélicoptère devrait rester pratiquement intact après au moins deux tonneaux complets.

Les indices de résistance à l'écrasement qui ont été proposés sont notamment:

(a) le degré d'écrasement de la cabine;

(b) l'importance de la décélération subie par les occupants au cours de l'écrasement.

Pour améliorer la résistance à l'écrasement du fuselage, et pour satisfaire aux critères ci-dessus, les modifications suivantes devraient être apportées:

1. Augmentation des capacités d'absorption d'énergie de la structure entourant l'habitacle.

2. Modification des éléments de structure comme la poutre de queue du rotor anti-couple, de façon qu'à la rupture elles se détachent sans conséquences dangereuses.

3. Renforcement de la structure du poste de pilotage et de la cabine.

4. Modification de la structure du fuselage pour améliorer les caractéristiques de déformation structurelle des parties non occupées.

Ainsi pourvu des informations relatives aux points faibles que comporte actuellement la conception des fuselages, en fait de résistance à l'écrasement, l'enquêteur peut évaluer un par un chacun de ces facteurs, afin de pouvoir appuyer les recommandations relatives aux améliorations à apporter ou d'en proposer de nouvelles.

SYSTÈMES D'ASSUJETTISSEMENT AUX SIÈGES

Les statistiques sur les accidents d'hélicoptères civils montrent que la défaillance des systèmes d'assujettissement aux sièges est une cause fréquente de lésions et de décès. L'auteur a eu bien des occasions de constater les tragiques conséquences de systèmes défectueux.

Ces conséquences sont vraiment malheureuses étant donné que l'assujettissement d'un passager est relativement facile à réaliser et qu'il peut signifier toute la différence entre la vie et la mort. Pour vérifier ce fait, considérons la fréquence de mortalité des blessures crâniennes ou encore les cas véritablement désolants où l'on n'a pu évacuer un aéronef en feu ou en train de sombrer alors qu'il n'y a pas eu, à l'impact, de blessures ou de commotions.

D'après le Guide sur la conception de structures permettant de survivre à un écrasement, les harnais d'assujettissement du personnel et de la cargaison devraient pouvoir empêcher toute blessure corporelle dans les cas proches des limites supérieures de la courbe des chances de survie. De nombreux moyens d'assujettissement

d'un corps humain ont été proposés et si certains sont d'une qualité exceptionnelle, d'autres laissent beaucoup à désirer. Les qualités que l'on doit attendre d'un harnais régulièrement utilisé sont les suivantes:

1. Ce harnais doit être confortable et léger.

2. L'occupant doit pouvoir facilement le boucler et le déboucler.

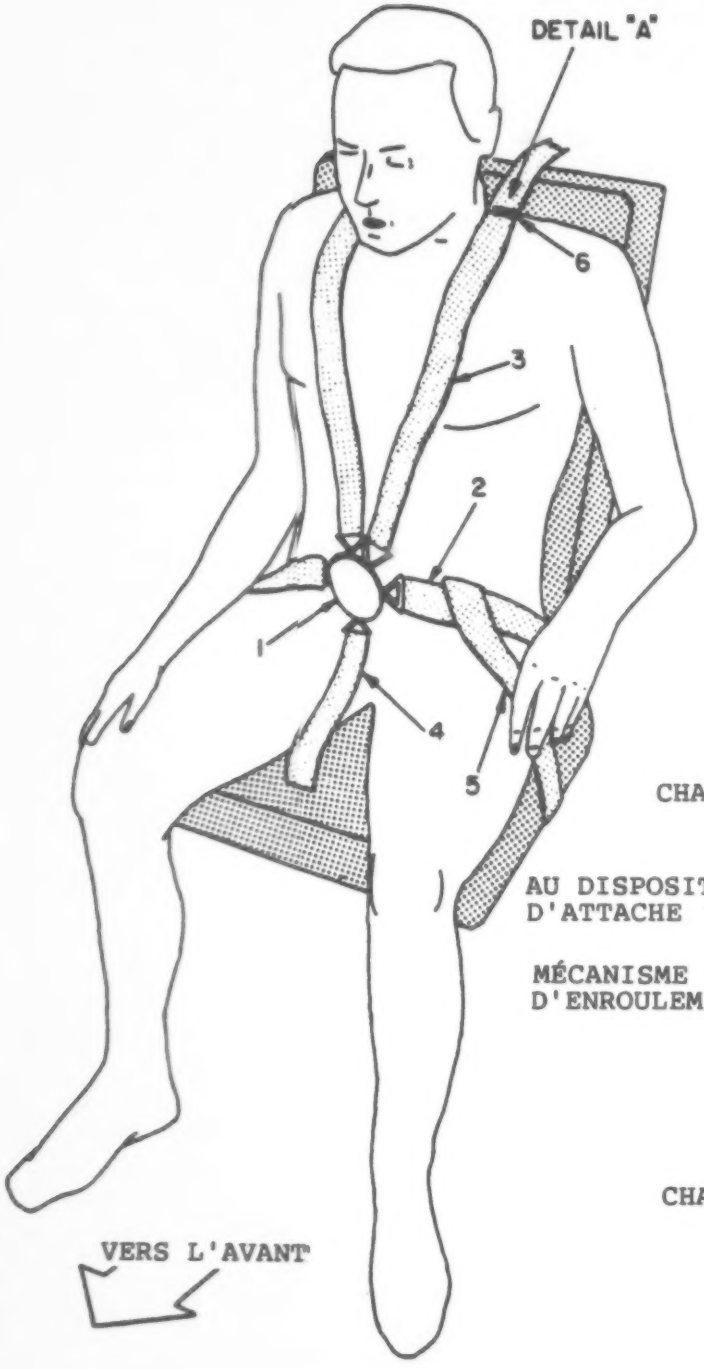
3. Ce harnais devrait comporter un seul mécanisme de déverrouillage, facile à utiliser d'une seule main, l'une ou l'autre, un blessé pouvant avoir des difficultés à déverrouiller plus d'une boucle avec la main dont il a gardé l'usage. Ce harnais devrait également ne pas pouvoir se déverrouiller par inadvertance.

4. Ce harnais devrait laisser une liberté de mouvement permettant d'agir sur les commandes de l'aéronef. À cette fin, on fait souvent appel à l'emploi d'un enrouleur à inertie auquel les bretelles sont assujetties.

5. Ce harnais devrait assurer un assujettissement suffisant dans tous les sens pour empêcher, dans un accident présentant des chances de survie, toute lésion corporelle due aux forces de décélération.

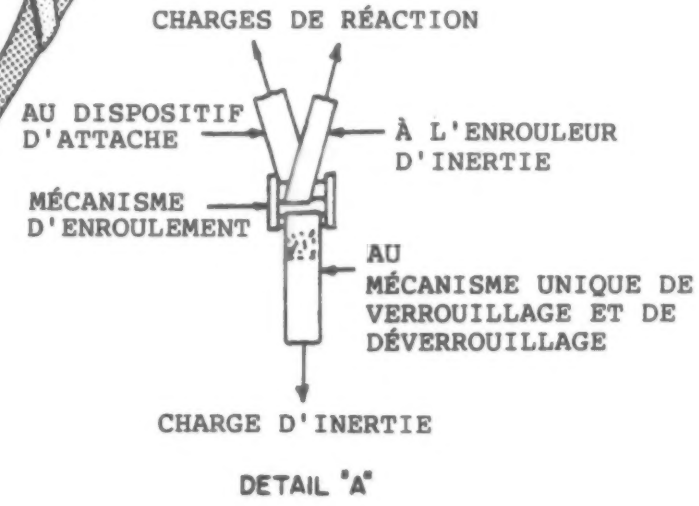
Ancrage de la ceinture

Le point d'ancrage de la ceinture peut être situé soit sur le baquet du siège même, soit sur un élément primaire de la cellule. Dans ce dernier cas, on doit tenir compte du mouvement auquel le siège est soumis lorsque les dispositifs de limitation des charges sont utilisés, l'assujettissement par la ceinture devant alors rester efficace. Cependant, les qualités de résistance de la ceinture doivent alors être suffisantes pour assurer la fixation du siège aussi bien que l'assujettissement de son occupant.



IDENTIFICATION DES ÉLÉMENTS

1. MÉCANISME UNIQUE DE VERROUILLAGE ET DE DÉVERROUILLAGE
2. CEINTURE
3. BRELELLE
4. SANGLE D'ENTREJAMBES
5. SANGLE À LA HAUTEUR DES HANCHES
6. BRETELLE AUTOBLOQUANTE



DETAIL "A"

Fig. 12-4

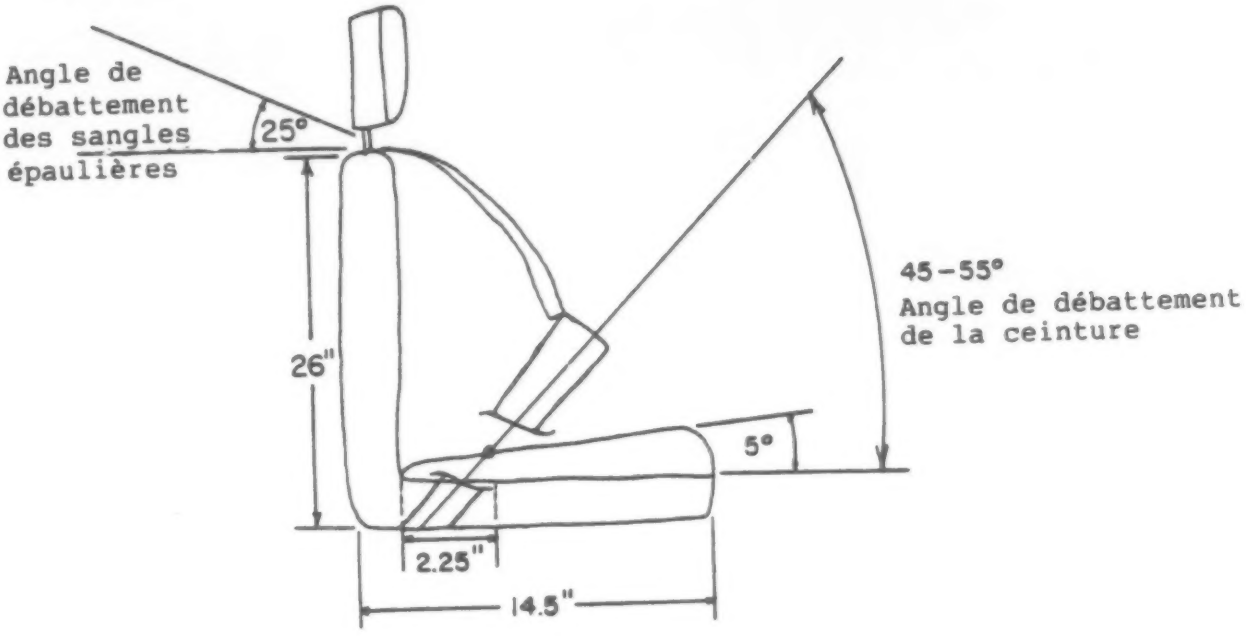


Fig. 12-5

La ceinture devrait être ancrée de manière à assurer le meilleur assujettissement possible de la partie inférieure du torse lorsqu'il est soumis à une décélération longitudinale. La figure 12-5 montre l'angle optimal sous lequel la ceinture doit assujettir le corps à hauteur des hanches et empêcher sa projection vers l'avant pendant la décélération due à l'écrasement. Une sangle d'entrejambes est disposée au milieu du siège pour interdire un mouvement vers le haut qui pourrait occasionner des lésions abdominales. La figure 12-4 donne une idée du système qui satisfait à tous les critères.

Enrouleurs à inertie

Un enrouleur à inertie constituant partie intégrante du système d'assujettissement laisse la liberté de mouvements nécessaire au pilotage et améliore le confort tout en bloquant automatiquement les bretelles au cours d'une décélération brusque. La liberté de mouvements s'obtient grâce à un ressort compensé assujetti au câble de l'enrouleur ou aux sangles, permettant ainsi le déroulement des bretelles quand l'occupant du siège n'a pas à être fermement assujetti à celui-ci. Les Forces armées des États-Unis utilisent deux sortes d'enrouleurs: l'enrouleur réagissant à l'impact et l'enrouleur à régulation de vitesse de déroulement. L'ancien système d'enroulement par réaction à l'impact prend, s'il s'en produit un, de deux à trois G sur le logement de l'enrouleur afin de se verrouiller automatiquement. Les charges normales d'accéléra-

tion en vol ne peuvent pas faire fonctionner cet enrouleur. Le fonctionnement de l'enrouleur à "régulation de la vitesse de déroulement" s'opère selon la vitesse à laquelle le harnais est tiré vers l'avant, ce qui dépend du sens du mouvement. Ce système peut être verrouillé à n'importe quel moment en donnant une secousse aux bretelles. Les normes des Forces armées des États-Unis exigent que les deux sortes d'enrouleurs se verrouillent automatiquement avant que la personne occupant le siège ait avancé de plus d'un demi-pouce pendant une décélération en cas d'urgence. Les statistiques d'accidents montrent que les aéronefs à voilure fixe heurtent fréquemment le sol de côté, ou encore verticalement avec une faible décélération longitudinale. On préconise donc l'emploi, sur les aéronefs à voilure tournante, de l'enrouleur "à régulation de la vitesse de déroulement".

On a essayé divers matériaux pour déterminer les caractéristiques de résistance et de déroulement des sangles. On préconise l'emploi de matériaux présentant un minimum d'élasticité afin de réduire les effets de l'accélération. Comme exemple des matériaux essayés, citons le dacron, qui s'allonge d'environ 13 pour cent, alors que le nylon s'allonge de 28 pour cent. Il faut aussi tenir compte des caractéristiques d'inflammabilité du matériau.

La largeur idéale d'une ceinture est de 2 pouces et quart, l'épaisseur idéale étant d'au moins un dixième de pouce. La bretelle, si elle peut être réalisée avec un matériau moins épais, devrait avoir une largeur de 2 pouces.

On peut donner plusieurs conseils au pilote pour augmenter ses chances de survie dans un accident:

1. qu'il utilise les dispositifs d'assujettissement au siège;

2. que ces dispositifs comportent un mécanisme commode de verrouillage;

3. que les sangles minces servant de bretelle puissent être remplacées;

4. qu'on évite des trous de guidage des bretelles trop larges (le trou de guidage d'une bretelle ne devrait pas avoir une largeur supérieure à 3 pouces);

5. qu'on donne à tous les passagers la consigne d'utiliser leurs systèmes d'assujettissement au siège.

Harnais d'assujettissement aux civières

En raison de l'emploi de plus en plus fréquent des hélicoptères en mission d'évacuation sanitaire, il faut tenir compte des difficultés d'assujettissement des patients transportés sur des civières. Avec les systèmes actuels, l'assujettissement est compromis du fait de l'absence de moyens intégrés de limitation du mouvement transversal. Les mouvements latéraux peuvent être supprimés par assujettissement du patient sur les éléments rigides de la civière, mais les mouvements longitudinaux ne peuvent être supprimés qu'avec un harnais de conception complexe. À l'heure actuelle, il semble que l'utilisation de deux sangles, chacune de deux pouces de largeur, enroulées autour de la civière, permet un mode d'assujettissement compatible avec les systèmes d'ancrage des civières actuellement employées dans les hélicoptères. Ces sangles à

enroulement devraient pouvoir résister à une charge de 4000 livres lorsqu'elles forment une boucle et de 2000 livres lorsqu'elles n'en forment pas. Deux de ces sangles devraient ainsi permettre un assujettissement supportant une charge de 30 G si l'on tient compte dans une certaine mesure de l'inégalité des contraintes et du rebondissement après impact.

Ancrage des systèmes d'assujettissement

Dans beaucoup trop de cas, l'auteur a constaté que des ceintures de résistance suffisante étaient fixées à des matériaux qui n'avaient guère plus de solidité qu'une feuille d'étain. Il faut attacher beaucoup d'importance à la solidité des points de fixation à l'aéronef de la ceinture et des bretelles, une chaîne n'ayant que la résistance de son maillon le plus faible.

Un détail qui a échappé aux préoccupations du législateur, du moins dans le secteur civil, c'est la hauteur du dossier des sièges. Il n'existe à présent aucun document faisant état d'exigences à ce sujet, même si des blessures ont pu se produire à cause de sièges aux dossiers trop bas. Un constructeur, par exemple, équipe en série ses appareils d'un dossier de siège bas afin que les passagers des sièges arrières puissent avoir une meilleure visibilité vers l'avant et se sentir en outre mieux intégrés à l'équipage. Un dossier de siège élevé constitue une option relativement coûteuse.

Un accident qui s'est produit avec l'un de ces appareils illustre cette particularité. L'impact qui a suivi l'autorotation a donné lieu à une accélération élevée dans le sens vertical mais, de plus, le pilote s'est plié vers l'arrière, ce qui lui a occasionné un tassement de la colonne vertébrale. Le radiogramme présenté ci-après donne une idée de la gravité des lésions à la structure osseuse, avec comme conséquence, la lésion du cordon médullaire lui-même.

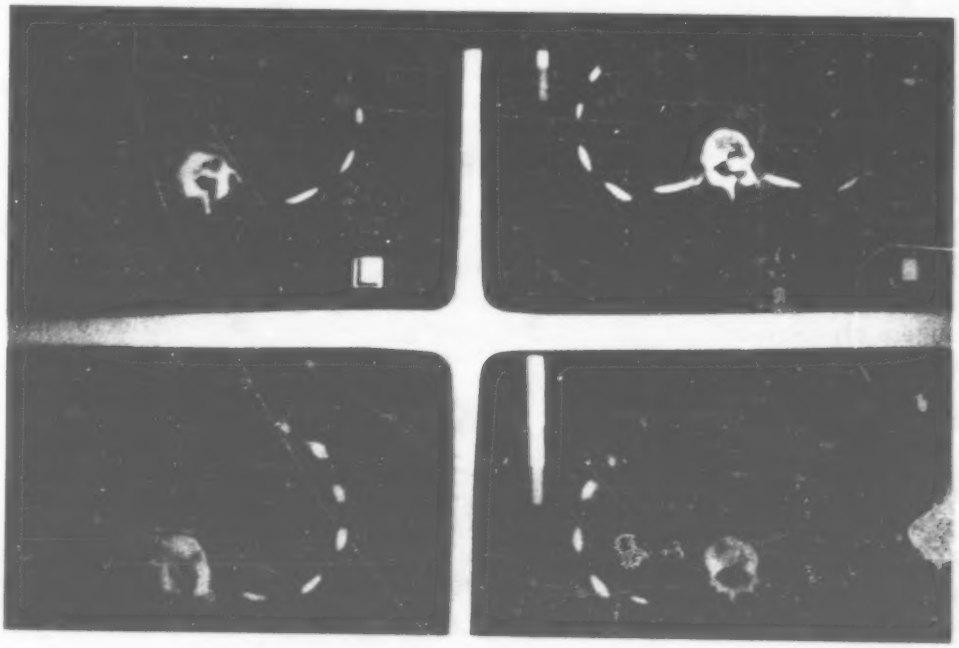


Photo 12-2

Environnement

La cinématique de l'action d'un corps par suite d'un impact d'accident d'aviation montre que les forces en présence sont extrêmement violentes. Bien que les lésions causées aux diverses parties du corps soient beaucoup plus graves lorsqu'on ne porte qu'une ceinture, les contraintes de tous sens qui s'exercent sur la tête, les bras et les jambes sont vraiment considérables, même si l'on est pourvu d'un système convenable d'assujettissement. L'espace disponible pour les occupants est généralement restreint dans les hélicoptères. Il n'est habituellement pas possible d'enlever des éléments tels que des membres de structure susceptibles, au cours d'une décélération à l'impact, de présenter des dangers de lésions pour le corps humain. Certaines dispositions doivent donc être prises pour minimiser le risque de lésions en réaménageant la cabine et en la rembourrant soigneusement ainsi que, dans certains cas, en portant un équipement protecteur personnel, par exemple des casques. L'environnement présente généralement des risques de nature primaire, secondaire et tertiaire.

1. Risques primaires

   Les risques primaires sont constitués par les éléments rigides ou semi-rigides de la structure qui sont susceptibles de présenter un danger pour la tête et pour la poitrine.

2. Risques secondaires

   Les risques secondaires de l'environnement sont ceux qui pourraient soit emprisonner les passagers, soit les blesser aux extrémités inférieures au point que leur possibilité d'évacuation rapide de l'appareil serait compromise.

3. Risques tertiaires

   Les risques tertiaires de l'environnement sont constitués par les éléments de structure rigides et semi-rigides qui pourraient occasionner des blessures aux membres supérieurs au point de restreindre la possibilité d'utilisation des hublots d'évacuation ou l'exécution de tâches essentielles.

On a beaucoup travaillé, au cours des dix dernières années, pour réduire les causes internes de lésions mortelles en automobile, en modifiant des éléments comme les tableaux de bord, les objets saillants, les boutons, le rembourrage du tableau de bord avec des matériaux absorbant les chocs. Malheureusement pour le pilote et les passagers d'un aéronef, on ne s'est pas autant préoccupé de reconsidérer les formes des éléments de l'habitacle qui peuvent être mortellement dangereux.

Impacts de la tête

Les casques protecteurs ou les structures qui, dans l'environnement immédiat des occupants, absorbent l'énergie, sont considérés comme d'une importance essentielle puisque, dans certaines circonstances, même les forces subies au cours d'un accident bénin peuvent donner lieu à des vitesses d'impact intolérables pour la tête. Des études menées par Dynamic Science, à l'Université de l'État de Wayne, montrent qu'à plus de 20 pieds par seconde les chocs de la tête contre les surfaces rigides ne

peuvent pas être tolérés par l'être humain si un rembourrage suffisant ne le protège pas. L'emploi de matériaux de rembourrage absorbant convenablement l'énergie, de panneaux frangibles ou de matériaux ductiles dans les parties très dangereuses de l'habitacle réduirait les risques de dommages corporels.

Dangers pour les extrémités inférieures

Les dangers possibles pour les extrémités inférieures sont de deux types principaux:

1. Les éléments les plus dangereux sont constitués par les éléments inférieurs des tableaux de bord qui présentent des arêtes vives et dures, ce qui est le cas de nombreux aéronefs.
2. Les autres sont constitués par les pédales du palonnier montées sur une barre et n'offrant aucun support au talon, ou sont conçus de telle façon que le pied peut glisser ou être coincé entre les pédales.

Le premier type de danger cause très souvent des accidents du genre fractures du tibia et du péroné, dont beaucoup de pilotes de "Spitfire" ont été victimes. Des matériaux et systèmes convenablement conçus peuvent permettre, comme on l'a indiqué plus haut, d'y porter remède.

Le second type de danger provient, par exemple, des pédales d'un palonnier à barre, lorsque le talon passe violemment sous la pédale au cours d'un impact, ou par d'autres types de palonniers, lorsque le pied est coincé entre les deux pédales ou entre une pédale et d'autres éléments de structure. On a préconisé l'utilisation de pédales espacées d'au plus deux pouces entre elles et par rapport aux éléments de structure avoisinants ou, en cas d'impossibilité, d'au moins six pouces dans les deux cas. Cela diminuerait le risque d'être coincé. La photo 12-4 montre un exemple caractéristique de ce type de montage.

À l'heure actuelle, on a beaucoup travaillé sur l'emploi de matériaux absorbant l'énergie de l'impact, comme les mousses molles qui servent à garnir l'habitacle. Les matériaux actuellement à l'essai comprennent notamment les mousses à base de soufre et les mousses au polyuréthane. Le critère de choix d'un rembourrage est précisé dans le guide de la conception d'aéronefs permettant de survivre à un accident et il vaut la peine de noter que le ministère américain des Transports propose l'adoption, pour les véhicules à moteur, de critères de rembourrage qui seraient légèrement plus contraignants quant à l'absorption de l'énergie. Outre les propriétés mécaniques, telles que les caractéristiques de contraintes et les déformations, on doit tenir compte de l'odeur, de la résistance aux produits chimiques et aux solvants, ainsi que des caractéristiques d'inflammabilité. Une chose d'une importance extrême, dont il importe de tenir compte, est le dégagement de gaz toxiques et de sous-produits au cours du processus d'oxydation par le feu.

Absorption de l'énergie

La modification du fuselage de l'hélicoptère, afin d'améliorer ces caractéristiques d'absorption de l'énergie, a été, ainsi que l'influence de la forme du fuselage, étudiée dans les pages précédentes et l'on peut à ce sujet trouver davantage de détails dans le guide de conception d'aéronefs laissant des chances de survie en cas d'écrasement. L'amélioration des caractéristiques d'absorption d'énergie du fuselage ne doit pas nécessairement se réaliser en sacrifiant le poids, puisque ses composants peuvent être conçus de façon à se déformer d'une manière prévisible, des dispositifs de limitation des contraintes, par exemple les supports de longerons, pouvant être utilisés d'autre part.

Idéalement, la cabine peut être renforcée dans une certaine mesure, tant que les matériaux employés ne sont pas excessivement cassants, ce qui occasionnerait des risques supplémentaires. En appliquant les principes de la cinématique d'un accident pour déterminer l'accélération subie par les occupants, on constate que les contraintes par G sont directement proportionnelles au carré de la vitesse à l'impact et inversement proportionnelles à la distance d'arrêt. Puisque la vitesse à l'impact ne peut pas toujours être maîtrisée, la seule variable modifiable est la distance d'arrêt (S). À part la déformation du fuselage lui-même, la seule autre modification principale possible est celle qui fait application de ces principes aux sièges des occupants.

Par conséquent, l'emploi de matériaux absorbant l'énergie dans les sièges des coussins, par exemple, et de dispositifs de limitation des charges d'accélération, devient important. Un grand nombre de dispositifs ont été proposés, mis au point et éprouvés pour absorber l'énergie et limiter les charges. Comme on l'indique dans le chapitre précédent, l'énergie cinétique d'une masse en mouvement peut être absorbée par application d'une force sur une certaine distance; c'est le mode primaire d'absorption de l'énergie résultant d'un accident. Les mécanismes d'absorption de l'énergie devraient céder sous des charges tolérables pour l'être humain et les distances sur lesquelles ils céderaient devraient être compatibles avec ces charges et avec l'énergie à absorber. Diverses études ont montré que la déformation plastique des matériaux, surtout des métaux, constitue un moyen raisonnablement efficace d'absorber l'énergie et, par conséquent, la plupart des dispositifs de limitation des charges ou d'absorption de l'énergie sont conçus selon ce principe. Les critères d'efficacité d'un dispositif d'absorption de l'énergie sont les suivants:

1. Le dispositif devrait se caractériser par une force prévisible en fonction de la déformation subie.
2. La rapidité des contraintes à prévoir dans les accidents ne devrait pas occasionner une variation notable de la force en fonction des caractéristiques de déformation du dispositif.
3. L'ensemble dans lequel le dispositif est placé devrait pouvoir résister à la tension et à la compression.
4. Le dispositif devrait être aussi léger et petit que possible.

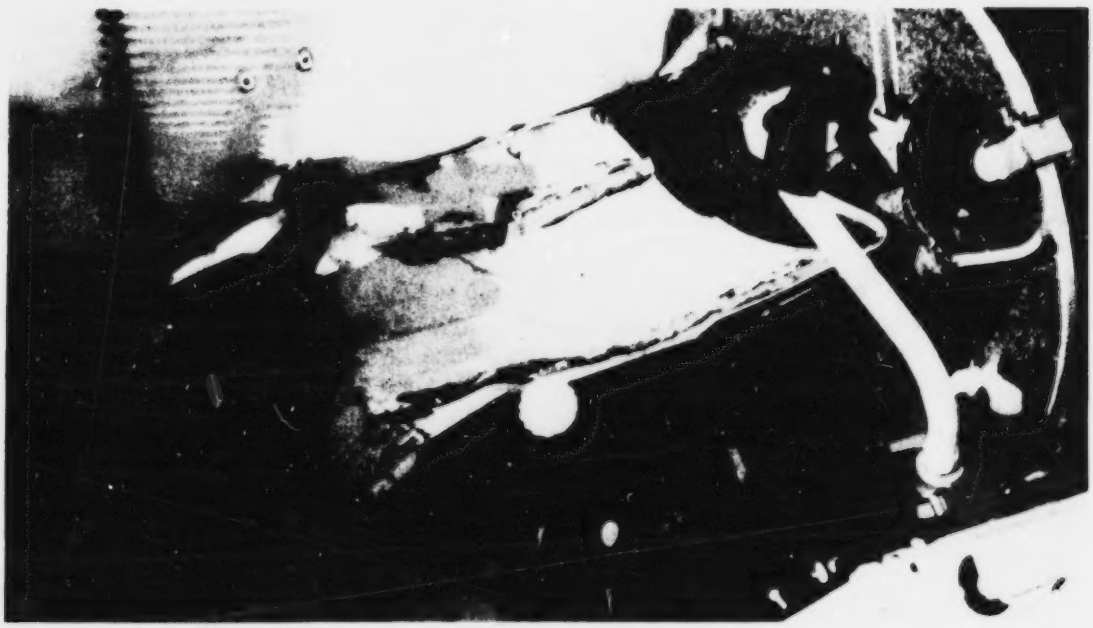


Photo 12-3

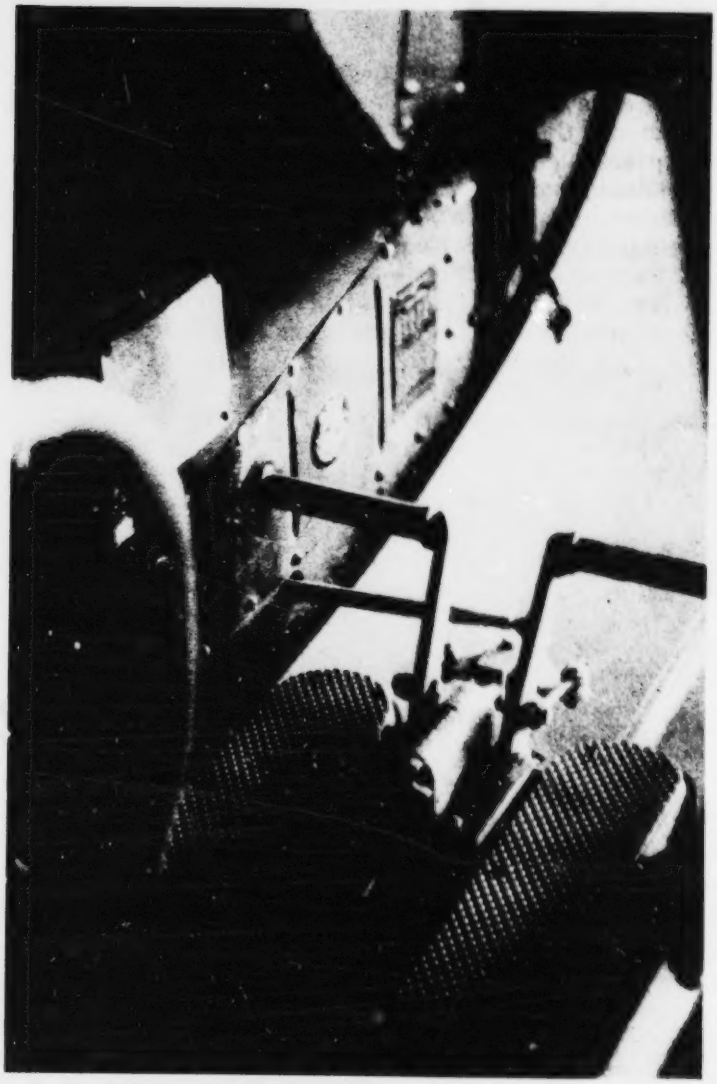


Photo 12-4

5. Le dispositif devrait être économique.

6. On devrait pouvoir compter sur le dispositif pour fonctionner sans entretien de façon satisfaisante pendant toute la durée de service de l'aéronef.

Un type de dispositif qui a fait l'objet de nombreux essais se présente sous la forme d'un tube d'aluminium qui s'inverse sous la charge. Ce tube a d'abord été mis au point pour les volants d'automobiles, puis on s'en est servi comme jambe de compression antérieure d'un siège d'avion de ligne au cours des expériences effectuées pour la NASA. Il a présenté une déformation verticale de 5,5 pouces sous une charge contrôlée et, bien que les forces latérales aient déformé le tube à inversion en le faisant passer d'une forme circulaire à une forme elliptique, le dispositif a continué à

fonctionner de manière satisfaisante. Les matériaux en nid d'abeilles ont également été mis à l'épreuve et la courbe de déplacement des forces a déjà été présentée dans le chapitre précédent. Une attention particulière doit être portée aux coussins de sièges des hélicoptères; ceux-ci ne devraient pas seulement servir au confort du pilote et à l'amortissement des vibrations mais ils devraient aussi pouvoir absorber l'énergie verticale en cas d'impact. Le matériau employé ne devrait en aucun cas augmenter les contraintes de décélération qui s'exercent sur la colonne vertébrale du pilote par suite d'un rebond. C'est pourquoi les coussins en mousse ne sont pas recommandés. Des matériaux mieux adaptés, par exemple ceux que nous avons décrits comme se prêtant bien à l'absorption de l'énergie, voire des coussins en mousse de polystyrène, devraient être employés pour la confection des coussins de sièges. L'auteur recommande que, sur les hélicoptères dépourvus de dispositifs de limitation d'efforts, ou comportant d'importantes structures au-dessous du siège, ces aéronefs soient munis en rattrapage de coussins en matériau absorbant l'énergie. La photographie 12.3 montre le genre de siège couramment employé dans les hélicoptères. Cette photographie met en évidence le fait que le siège a été soumis à un important effort vertical et, bien que la déformation soit visible, on peut faire beaucoup pour améliorer les caractéristiques d'absorption de l'énergie de ce genre de siège. Il est également évident, d'après la photographie, qu'une simple ceinture en toile à fermoir métallique a été utilisée. Ce genre de dispositif est inacceptable.

Les photos 12-5 et 12-6 montrent un enregistrement réel des mesures de contraintes effectuées il y a quelques années par l'auteur au cours d'un essai de largage. Notez l'atténuation obtenue grâce aux caractéristiques d'absorption de l'énergie de la mousse, l'accélération maximale étant d'environ un quart en cas d'utilisation de celle-ci. L'aire qui se trouve sous chacune des deux courbes est identique, ce qui montre que la même quantité d'énergie a été absorbée dans l'un et l'autre cas.

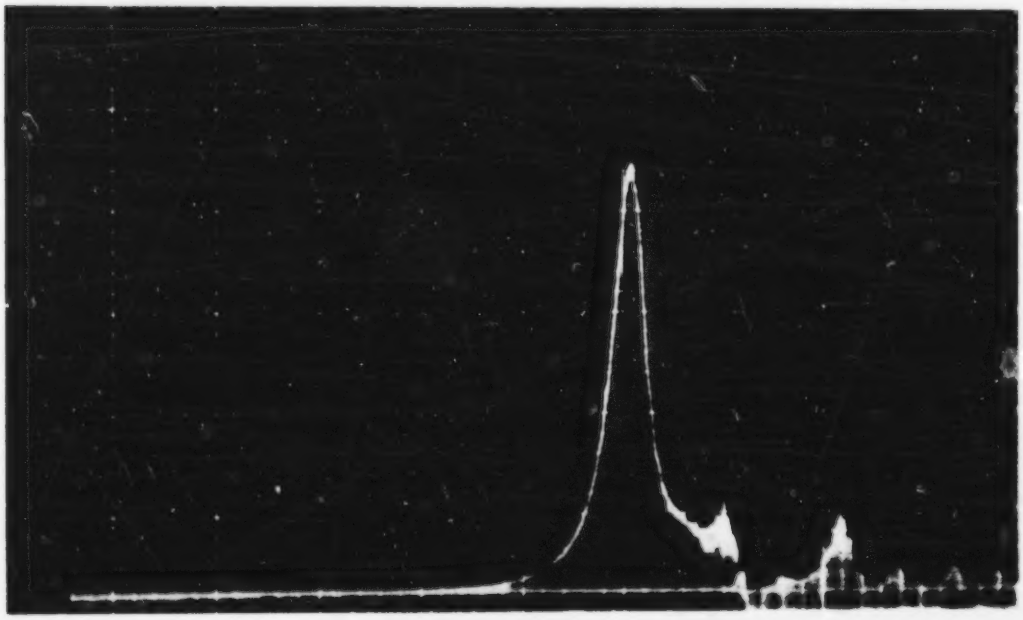


Photo 12-5

Fixations sur la structure

Il n'y a naturellement aucune raison d'utiliser des dispositifs d'absorption d'énergie sur un siège, si celui-ci doit se disloquer au cours d'un impact. Il faut prêter attention à l'ancrage du siège. Celui-ci doit pouvoir rester fixé au plancher ou à d'autres éléments de structure de l'appareil tandis que ces éléments se déforment, et les ferrures d'attache doivent être assez résistantes (ne pas employer de pièces fondues) et d'une conception leur permettant de résister à la torsion et à la flexion du plancher.

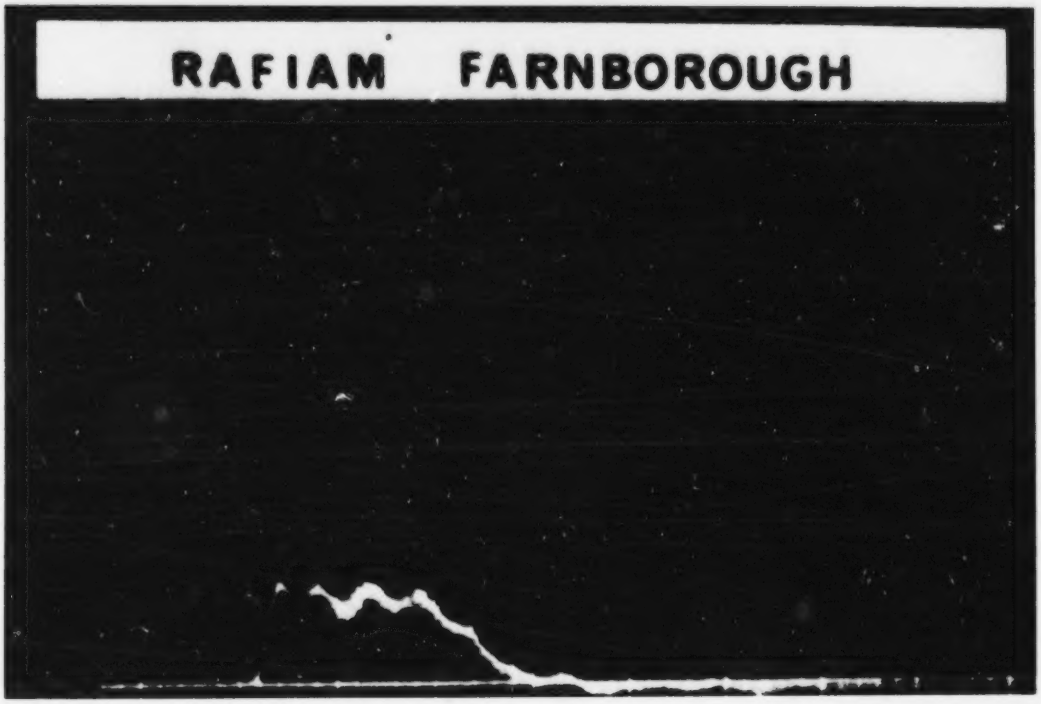


Photo 12-6

Risques consécutifs à l'écrasement

Ces risques qui affectent les chances de survie au cours d'un accident ne sont certainement pas les moins importants, surtout dans le cas des hélicoptères dont certains types présentent des risques d'incendie considérables.

Évacuation d'urgence

En raison des risques d'incendie après écrasement d'un hélicoptère et du fait que la majorité des blessures, mortelles ou non, qui se produisent à l'occasion d'accidents de toutes sortes, sont des brûlures, il convient, en abordant la question des évacuations d'urgence, de se préoccuper au plus haut point de la menace d'incendie après l'impact.

Lorsqu'il s'agit des évacuations d'urgence, on se préoccupe surtout des issues de secours, de l'accès à celles-ci, de l'éclairage de l'habitacle en situation de détresse, notamment dans le cas des hélicoptères d'un certain tonnage qui servent au transport du fret et des passagers. On doit se souvenir qu'après l'impact beaucoup de confusion et de peur règnent dans la cabine et que la panique peut avoir les pires conséquences, notamment si un incendie se déclare.

Le Guide de conception des aéronefs permettant la survie en cas d'accident classe les sorties en trois catégories:

(a) Sortie de classe A: Les portes, les écoutilles, les verrières et autres moyens d'accès et de sortie conçus essentiellement pour les conditions normales d'utilisation.

(b) Sortie de classe B: Les portes, les écoutilles et autres moyens de fermeture conçus essentiellement pour les besoins logistiques.

(c) Sortie de classe C: Les hublots, les portes, les écoutilles ou autres moyens de fermeture conçus essentiellement comme moyens d'évacuation en cas d'urgence.

Les moyens de sortie de la classe C doivent pouvoir être enlevés dans les cinq secondes, quelle que soit l'assiette de l'aéronef. Ces ouvertures constituent le minimum qu'on puisse exiger comme moyen d'évacuation d'urgence. Une ouverture de la classe A avec possibilités de largage est normalement considérée comme supérieure à une ouverture de la classe C.

On a recommandé que les ouvertures de la classe C mesurent au moins 22 pouces carrés, présentent des coins de 6 pouces de rayon pour permettre l'évacuation à la vitesse d'une personne et demie par seconde. Si la conception d'un hélicoptère particulier ne se prête pas à l'aménagement d'une sortie de cette dimension et de cette forme, une autre solution possible consiste à prévoir des sorties de dimensions et de formes différentes à condition qu'elles permettent d'évacuer à la vitesse d'une et demie par seconde des personnes de forte taille, vêtues pour l'hiver de tenues de vol ou de campagne. Dans le cas des hélicoptères à un seul poste de pilotage, une sortie de classe A et une sortie de classe C du côté opposé au poste de pilotage devraient être prévues, en supposant qu'une verrière coulissante ou à demi-coquille ne soit pas employée. La raison en est qu'il faut assurer des moyens supplémentaires d'évacuation si l'appareil verse sur le côté et bloque une issue. Dans le cas des postes de pilotage avec sièges côte à côte, au moins deux sorties de classe C devront être prévues, une sur chaque côté du fuselage. Avec cet aménagement, toutes combinaisons de sortie de classe C et de classe A peuvent être interchangeables à condition qu'une sortie de classe A soit pourvue d'un dispositif de largage en cas d'urgence. Dans le cas des hélicoptères avec sièges d'équipage en tandem, tels que le "Huey Cobra", il faut disposer au moins de deux sorties de classe C et d'une sortie de classe A avec moyen de largage d'urgence, en supposant que l'on puisse passer indifféremment d'un poste de pilotage à l'autre. Autrement dit que le 99 percentile des membres d'équipage en tenue de vol divers puisse, sans difficultés anormales, passer

d'un poste de pilotage à l'autre pour pouvoir évacuer l'aéronef en cas d'urgence. Dans les parties de l'appareil réservées aux passagers, il faut disposer au moins, comme issue de secours, de deux sorties de classe C, une de chaque côté du fuselage. Sur les hélicoptères dont les moteurs, les transmissions, les commandes principales, etc., sont placés au-dessus des occupants, des sorties par le dessous ou par l'arrière de l'appareil doivent remplacer les sorties par le dessus.

Les issues de secours devraient être équidistantes de chaque côté de l'appareil et, si possible, ne pas être disposées en vis-à-vis pour éviter les risques de bousculade. De plus, les sorties devraient être placées de façon à comporter le moindre risque de déformation et à laisser en cas d'accident la meilleure accessibilité possible. Elles devraient être situées aussi loin que possible des organes extérieurs dangereux comme les hélices, les sorties de turbine, les armes; elles devraient en outre être éloignées des parties de l'appareil d'où le carburant peut se répandre et de celles d'où un incendie peut se déclarer. Toutes les sorties de secours devraient pouvoir être ouvertes de l'extérieur de l'appareil par les sauveteurs. Le système de largage devrait être conçu de façon qu'avec une main on puisse le déclencher rapidement de l'intérieur ou de l'extérieur, sans avoir à agir sur des verrous, des loquets, des butées, des boulons ou autres dispositifs. Les poignées de largage des issues de secours devraient être placées de manière qu'on ne risque pas d'y accrocher ses vêtements et que les membres de l'équipage ne soient pas obligés de défaire leurs bretelles de sécurité pour tourner des poignées. Cela est surtout important parce qu'il est parfois souhaitable de larguer des issues de secours avant l'impact, comme en cas d'amerrissage forcé. Tous les membres de l'équipage et tous les passagers devraient être informés avant le décollage du mode de fonctionnement des issues de secours et la méthode de largage des portes et des hublots devrait être parfaitement connue de toutes les personnes se trouvant à bord.

L'accès à toutes les sorties à partir des couloirs doit être conçu de telle façon qu'aucun siège, aucune civière, aucun autre obstacle, ne s'oppose au libre passage. Dans les hélicoptères à large fuselage, comme le "Chinook", on a éprouvé des difficultés lorsque l'appareil s'est affaissé d'un côté, pour atteindre une sortie située de l'autre côté car elle était alors à une hauteur telle qu'elle n'était plus à la portée des occupants de l'appareil.

Éclairage de secours

Un éclairage de secours pouvant être commandé à la main, ou automatiquement sous la force de l'impact, devrait permettre la lecture des consignes d'évacuation et un éclairage extérieur de l'appareil devrait servir à la fois à baliser les sorties et itinéraires d'évacuation et à signaler les lieux de l'accident. Les expériences menées par la NASA et par d'autres organismes ont montré que dans un accident d'aviation l'air se pollue immédiatement par la poussière ou la fumée, ce qui désoriente les passagers au point que ceux-ci pourraient se laisser gagner par la panique. L'éclairage de secours peut donc devenir une nécessité absolue. Les sources d'alimentation de cet éclairage devraient être indépendantes du circuit électrique principal de l'hélicoptère et pouvoir donner suffisamment de lumière pendant au moins quinze minutes.

Incendie après impact

Les études des dossiers d'accident montrent que les cas de mort sont d'autant plus fréquents lorsqu'un incendie s'est déclaré après l'impact. Dans les hélicoptères, ce genre d'incendie constitue une menace considérable, dans une certaine mesure parce que les substances inflammables et les moyens d'allumage du moteur peuvent être proches les uns des autres en raison des limitations qu'impose le centrage. On doit se souvenir que le carburant d'aviation ne constitue pas la seule matière combustible dangereuse et que l'huile de graissage et le liquide hydraulique peuvent aussi être à l'origine d'un incendie après impact du fait de la présence des foyers d'incendie que comporte le moteur. Si l'huile et le liquide hydraulique prennent difficilement feu quand ils se présentent en flaque, ils sont extrêmement inflammables quand ils sont vaporisés et, souvent, des substances comme l'huile de graissage sont déjà chaudes dans les conditions normales de fonctionnement des moteurs. De plus, le liquide hydraulique est habituellement sous pression et, si une canalisation du circuit hydraulique est sectionnée, on peut se trouver en présence d'une nébulisation extrêmement inflammable ou explosive. En menant une enquête sur un incendie après accident, il faut également tenir compte de la charge de combustible. Le garnissage intérieur, bien qu'il ne soit habituellement pas une cause essentielle d'incendie, ralentit du fait de ses propriétés isolantes le processus de fusion du revêtement de fuselage et crée pour les flammes un passage favorable à la propagation du feu.

Dans un incendie après impact, les causes d'ignition sont les suivantes:

GAZ TOXIQUES PRODUITS PAR LA COMBUSTION DE MATÉRIAUX D'AÉRONEF
(OUTRE LE CO ET CO_2)

ÉLÉMENT	HCl	SO_2	BENZÈNE	HYDROCARBONES NON SATURÉS	NO_2	HCn	Cl_2	ARSINE	PHOSGÈNE	HF
ACRYLIQUE	←			NON						→
MOUSSE LATEX	X	X	X	X						
CUIR		X			X	X	X			
LAINE MINÉRAL					X					
MODACRYLIQUE	X	X		X		X				
MOUSSE POLYURÉTHANE				X						
CONTRE-PLAQUÉ				X				X		
SIMILI-CUIR				X					X	
MOUSSE VINYLE			X	X						
LAINE		X				X				
FLUORURE DE POLYVINYLE	X									X
URÉTHANE						X				
AMIANTE						X				
POLYSULFONE		X								
CAOUTCHOUC		X								

Figure 12-6

1. Flammes:

   Les flammes, qui peuvent constituer la cause initiale d'un sinistre, proviennent des moteurs ou de l'huile du circuit hydraulique.

2. Surfaces chaudes:

   Elles comprennent les freins, les radiateurs de chauffage, les ampoules, les convertisseurs, les batteries au cadmium-nickel, etc.

3. Les étincelles électriques.

4. Les étincelles de frottement.

5. Les étincelles d'électricité statique.

De nombreuses études ont été effectuées à l'occasion d'accidents d'avions et d'hélicoptères qui avaient pris feu. Dans ces études, on fait ressortir que le temps nécessaire pour atteindre la limite de tolérance humaine, basé sur la tolérance à la chaleur du système respiratoire, qui est de 390°F, était d'environ 120 secondes dans le cas des gros hélicoptères de transport et variait entre 6 et 15 secondes dans le cas des hélicoptères de servitude et de transport léger.

La tolérance humaine aux effets d'un incendie après impact dépend de deux facteurs:

1. La chaleur

2. Les gaz toxiques provenant des sous-produits de la combustion. Parmi eux, le plus commun est l'oxyde de carbone. Un taux de carboxyhémoglobine de 35 % est suffisant pour faire perdre le sens de l'orientation, mettre en état de prostration et provoquer un évanouissement; ce pourcentage peut donc être considéré comme une limite de tolérance en ce qui concerne les chances de s'échapper d'un aéronef en feu. Si le taux est porté à 60 %, il y a inconscience, incapacité respiratoire et la mort survient chez les sujets exposés trop longtemps. Forbes, Sargeant et Roughton, dans un article publié dans le "American Journal of Physiology" ont écrit ce qui suit:

   COHB = K x CO x T

   est le pourcentage de carboxyhémoglobine qui s'est formé,

   CO = le pourcentage d'oxyde de carbone dans l'air,

   T = le temps d'exposition en minutes,

   K = la constante d'absorption.

   La constante d'absorption K dépend de la vitesse de ventilation des personnes exposées. La constante K est égale à 3 pour des personnes au repos, à 5 pour des personnes peu actives, à 8 pour des personnes effectuant un petit travail et

à 11 pour celles qui effectuent un travail pénible. La valeur probable de K, au cours des efforts déployés pour évacuer un aéronef accidenté est de 8. Par conséquent, une personne atteindra la limite des possibilités d'évacuation, soit un COHB de 35 pour cent, au moment où elle respirera 3,0 pour cent d'oxyde de carbone pendant 90 secondes.

Le tableau 12.6 indique les gaz toxiques que, outre l'oxyde de carbone et l'anhydride carbonique, produit la combustion des matériaux entrant dans la composition d'un aéronef. Il est donc évident qu'on doit choisir avec minutie les matériaux de garnissage, les coussins de sièges, etc.

Les recherches visant à prévenir les incendies après impact ou à en diminuer la gravité ont suivi trois directions principales:

1. la modification des carburants;

2. la neutralisation des carburants;

3. la mise au point de circuits de carburant résistant à l'impact.

Divers types de carburants modifiés ont été essayés. Le principe essentiel de modification d'un carburant dans le but de réduire le risque d'incendie après impact consiste à augmenter sa viscosité, de façon qu'il ne puisse se répandre sur les lieux de l'écrasement comme le font les liquides. En augmentant la viscosité on se heurte cependant à plusieurs inconvénients. De toute évidence, une substance très visqueuse à utiliser comme carburant doit être retransformée à l'état liquide. En outre, des études ont montré que les carburants les plus visqueux ont tendance à être projetés sur une plus grande distance au moment de l'impact et, qui plus est, à adhérer aux surfaces, tout à fait comme le napalm.

L'idée qui préside à la neutralisation des circuits de carburant est l'élimination de l'oxygène nécessaire à la combustion dans les régions qui entourent les matériaux combustibles. C'est pourquoi on a procédé aux essais de moyens de neutralisation fonctionnant à l'azote. Bien que ces systèmes aient donné satisfaction en laboratoire, il n'en a pas été de même sur les lieux d'un accident où l'on trouve souvent du vent et d'autres causes de déplacement du gaz inerte; un incendie peut donc se déclarer, notamment dans le cas des moteurs à turbine, puisque les organes du moteur peuvent rester assez chauds pendant une vingtaine de minutes pour mettre le feu aux produits inflammables.

Le système le plus prometteur, à l'heure actuelle, est le circuit de carburant résistant à l'impact; il est conçu de façon que le carburant ne puisse pas se répandre au moment du premier choc. Il est possible qu'une combinaison de ces systèmes puisse élargir la marge de sécurité en fait d'incendies après impact. La preuve que le circuit de carburant conçu en tenant compte des possibilités d'écrasement a donné satisfaction est illustrée par la réduction considérable des incendies après impact des hélicoptères "UH 1 Huey" de l'armée des États-Unis. Le Dr Harry Robertson, de l'université de l'État de l'Arizona, a indiqué personnellement à l'auteur que dans le cas d'environ 2000 accidents de "Huey" américains, tant dans les zones de combat que dans d'autres conditions de mise en oeuvre des appareils, il n'y a eu que sept incendies après impact, dont aucun n'a occasionné de blessures aux occupants.

Le circuit de carburant est capable de résister aux accidents

Le circuit de carburant idéal est conçu de manière à empêcher complètement les liquides inflammables de s'échapper pendant et après l'accident. À cet effet, il est nécessaire que tous les éléments du circuit, dont les réservoirs et les ferrures, les canalisations de liquide inflammable, les éléments du système de transfert de carburant, ainsi que l'ensemble des mises à air libre, soient convenablement étudiés en tenant compte des forces d'impact.

Dans un aéronef, l'emplacement du réservoir de carburant est d'une importance considérable eu égard à la nécessité de minimiser le danger d'incendie après impact. Cet emplacement doit être choisi en tenant compte des occupants, des causes d'ignition et des parties qui seront probablement soumises aux forces d'impact. Plus la distance est grande entre les sièges des occupants et les éléments du circuit de carburant, plus le temps disponible pour l'évacuation tend à augmenter puisqu'il est ainsi moins probable que le carburant pénètre dans le volume occupé par l'équipage et les passagers. Bien qu'il ne soit pas toujours possible de faire en sorte que le carburant soit éloigné d'un foyer probable d'ignition, les réservoirs ne devraient pas être installés au même endroit que le moteur, ni au-dessus de lui, ni à proximité de la batterie ou d'autres foyers principaux d'ignition. Il est également important que les réservoirs soient situés loin des organes qui souffriront le plus de l'impact, tels que le train d'atterrissage. La présence des réservoirs de carburant sous le plancher de l'hélicoptère constitue une grave menace étant donné le pourcentage important d'accidents qui se produisent à peu près en ligne de vol à grande vitesse de descente. Dans toute la mesure du possible, les cellules des aéronefs devraient être conçues pour s'écraser avant que les réservoirs soient eux-mêmes exposés en contact direct avec les obstacles. De plus, un volume d'expansion devrait être prévu autour de chaque réservoir pour permettre à celui-ci de changer de forme et à son contenu de se déverser.

En ce qui concerne la forme des réservoirs, la meilleure semble être cylindrique ou rectangulaire, ces formes pouvant facilement être modifiées sans présenter de parties saillantes. Le réservoir devrait être construit avec les matériaux auto-obturants et résistant aux perforations qui sont utilisés dans la construction de nombreux aéronefs militaires.

La défaillance des éléments de réservoir résulte souvent de l'arrachement de leurs ferrures, des tubulures de remplissage et des entretoises, ce qui permet un déchirement de la paroi du réservoir. On emploie normalement des ferrures de fixation pour assujettir à l'aéronef le réservoir et ses divers composants, comme le col de remplissage et la pompe de gavage qui doivent être conçus de manière à se détacher sous l'action de fortes charges. Un clapet auto-obturant doit être utilisé dans chacune des bâches de réservoir.

Dans les accidents d'aviation, les tuyauteries endommagées sont souvent la cause de déversements de carburant. Elles sont habituellement sectionnées par les éléments de structure voisins ou usés par abrasion contre les surfaces dures. L'emploi d'une tuyauterie souple consolidée par une armature d'acier est vivement recommandé dans les parties du circuit susceptibles de subir des efforts de frottement. De plus, la disposition des tuyaux devrait être étudiée minutieusement au stade de la conception.

Les canalisations de carburant devraient être orientées le long des éléments rigides de la structure, loin des foyers d'ignition tels que le câblage du circuit électrique. Un autre élément important du système de transfert de carburant est la pompe de gavage qui joue un rôle important dans le déclenchement du processus d'incendie après l'impact. La plupart des pompes de gavage utilisées aujourd'hui sont montées dans le réservoir du carburant auquel elles sont solidement boulonnées, ainsi qu'à la structure de l'aéronef. En cas d'accident, les dégâts subis par la pompe peuvent occasionner un déversement de carburant tout en faisant jaillir des étincelles électriques susceptibles d'enflammer celui-ci. Les pompes de gavage à air et celles qui, montées sur le moteur, fonctionnent par dépression, constituent des solutions de remplacement beaucoup moins dangereuses. Si les exigences de la conception obligent à monter une pompe de gavage dans le réservoir de carburant il est préférable d'employer une pompe à air. Elle ne doit être boulonnée que sur le réservoir, à moins qu'on utilise un moyen de fixation frangible.

Améliorer le moyen d'empêcher le carburant de se répandre ne suffit pas, il faut également, quand on conçoit un hélicoptère, s'efforcer de restreindre dans une certaine mesure les foyers d'ignition. Dès que possible pendant le déroulement d'un atterrissage de fortune, on doit fermer les circuits de carburant, de graissage et de servitudes hydrauliques en amont de la cloison pare-feu et il faut aussi couper l'admission du carburant au moteur.

Le circuit électrique d'un aéronef est un foyer possible d'incendie à l'impact car ses éléments sont largement répartis dans tout l'aéronef, et aussi parce qu'on se trouve en présence d'une grande quantité d'énergie, si l'on songe qu'il en faut peu pour allumer un feu dans des conditions idéales. C'est ainsi que le filament d'une lampe à incandescence d'un phare d'atterrissage est assez chaud pour enflammer le carburant 0,75 à 1,50 seconde après le bris d'une ampoule. Les risques d'incendie dus aux circuits électriques de bord peuvent être réduits si l'on coupe toutes les génératrices ou tous les alternateurs ainsi que toutes les batteries avant l'impact ou pendant les toutes premières phases d'un atterrissage de fortune.

Une protection supplémentaire peut être assurée par le montage de chicanes de réservoir, de barrages d'incendie, de cloisons d'égouttement et de moyens de dérivation d'écoulement du carburant.

CHAPITRE XIII

GUIDE D'ÉVALUATION DES CHANCES DE SURVIE EN CAS D'ACCIDENT D'HÉLICOPTÈRE

Maintenant que certains des éléments fondamentaux des conditions de survie sont compris, il devient malheureusement évident qu'il y a beaucoup à redire sur la conception des hélicoptères actuellement en service. Les Forces armées américaines et canadiennes ont, dans une certaine mesure, modifié leurs critères techniques afin de pouvoir disposer de véhicules offrant plus de chances de survie mais un grand nombre de ces améliorations, par exemple les circuits de carburant capables de résister à l'impact, n'ont pas encore été installés sur les appareils civils. Il se peut que ce manque d'intérêt manifeste pour les questions de survie soit surtout une question de prise de conscience car il ne fait pas de doute que le besoin existe et que le constructeur fait un effort pour satisfaire la demande. Quoi qu'il en soit, un grand nombre de nos lecteurs sont en mesure d'évaluer les appareils actuels, de les critiquer et de formuler des recommandations au sujet de leurs imperfections.

C'est pourquoi, avec l'aimable autorisation du Dr James Turnbow et du Dr Harry Robertson de l'école de formation des enquêteurs de l'université d'État de l'Arizona, l'auteur a pu incorporer au présent ouvrage le guide d'évaluation des chances de survie en cas d'accident.

Évaluation des chances de survie en cas d'accident d'un aéronef à voilure tournante

Quand on évalue un aéronef quelconque dans l'optique des chances de survie en cas d'accident, six particularités essentielles doivent être envisagées. Ce sont les suivantes: (1) système d'assujettissement de l'équipage; (2) système d'assujettissement des troupes; (3) risques d'incendie après impact; (4) résistance à l'impact de la cellule; (5) évacuation, et (6) éléments dangereux d'une cellule.

Pour pouvoir mettre au point un système raisonnable d'évaluation des chances de survie en cas d'accident, des valeurs pondérées ont été affectées à ces divers facteurs. Le pourcentage de pondération attribué à chacun d'eux est basé sur les risques possibles qu'ils comportent. Ces six facteurs, ainsi que leurs potentiels de risque, sont les suivants:

		Potentiel de risque	Nombre optimal	Valeur réelle
1.	Système d'assujettissement de l'équipage	17,92%	130	
2.	Système d'assujettissement de la troupe	17,23%	125	
3.	Risques d'incendie après impact	35,19%	255	
4.	Résistance à l'impact de la cellule	17,23%	125	
5.	Évacuation	8,29%	60	
6.	Éléments dangereux d'une cellule	4,14%	30	
	TOTAUX	100,00%	725	

Pour faciliter l'évaluation, le pourcentage de risque virtuel a été converti en une valeur numérique optimale dans laquelle un résultat parfait obtenu pour chacun des six facteurs aboutirait à un total de 725. Sur les aéronefs actuels les systèmes d'assujettissement insuffisants et les incendies après impact se sont partagé la responsabilité des lésions et pertes corporelles accidentelles et, de ce fait, on les a pondérés d'environ 35 % chacune. Un résultat médiocre pour chacun de ces postes importants pourrait indiquer l'existence d'une situation critique en cas d'accident, selon la nature de variables telles que le nombre de personnes à bord, l'aspect du relief et les moyens de secours.

Chacun de ces six facteurs est à son tour subdivisé en facteurs secondaires auxquels on assigne un pourcentage de virtualité dangereuse et que l'on transforme en valeur numérique optimale. La personne effectuant l'évaluation choisit simplement cette partie de la valeur numérique optimale de chaque facteur secondaire et la porte sur la liste en face de la valeur optimale, dans la colonne "Valeur réelle".

ÉVALUATION DES SYSTÈMES D'ASSUJETTISSEMENT DE L'ÉQUIPAGE

	Nombre optimal	Valeur réelle
	Aéronef à voilure tournante	
Capacité d'absorption verticale de l'énergie	30	
Configuration et résistance des sangles d'assujettissement	20	
Résistance longitudinale du siège	10	
Résistance latérale du siège	10	
Résistance verticale du siège	10	
Absence de pièces de fonte dans les régions soumises aux contraintes	10	
Largeur du guide des sangles épaulières (bretelles)	10	
Angle de débattement des sangles épaulières	5	
Angle formé par la ceinture et le coussin du siège	5	
Sangle d'entrejambes	5	
Type d'enrouleur à inertie	5	
Profondeur de la structure entre le plancher et la paroi inférieure du fuselage	10	
Total des points	130	

ÉVALUATION DU SYSTÈME D'ASSUJETTISSEMENT DES TROUPES

	Nombre optimal	Valeur réelle
	Aéronef à voilure tournante	
Capacité d'absorption verticale de l'énergie	30	
Configuration et résistance des sangles d'assujettissement	20	
Résistance longitudinale du siège	10	
Résistance latérale du siège	10	
Résistance verticale du siège	10	
Absence de pièces de fonte dans les régions soumises aux contraintes	10	
Largeur du guide des sangles épaulières (bretelles)	10	
Angle formé par la ceinture et le coussin du siège	10	
Sangle d'entrejambes	5	
Profondeur de la structure entre le plancher et la paroi inférieure du fuselage	10	
Total des points	125	

ÉVALUATION DES RISQUES D'INCENDIE APRÈS IMPACT

	Nombre optimal	Valeur réelle
Prévention des déversements		
Prévention des déversements de carburant	60**	
Prévention des déversements d'huile	20	
Canalisation de liquides inflammables	30	
Cloisons pare-feu	9	
Moyens de coupure du carburant	9	
Prévention des incendies		
Emplacement de l'admission et des flammes d'échappement	30	
Emplacement et isolement des pièces métalliques chaudes	30	
Emplacement du moteur et résistance de son bâti	15	
Emplacement de la batterie et résistance de son bâti	12	
Disposition des fils électriques	12	
Emplacement de la pompe de gavage et résistance de son assujettissement	7	
Emplacement du convertisseur et résistance de son assujettissement	6	
Emplacement de la génératrice et résistance de son assujettissement	6	
Emplacement des phares et résistance de leur assujettissement	5	
Emplacement de l'antenne et résistance de son assujettissement	4	
Total des points	255	

** Si l'évaluation tient compte de la présence d'un moyen raccordable d'éloignement du carburant, prévoir 40 points pour le circuit normal de carburant et 20 points pour le moyen d'éloignement.

ÉVALUATION DE LA RÉSISTANCE À L'ÉCRASEMENT D'UNE CELLULE

	Nombre optimal	Valeur réelle
	Aéronef à voilure tournante	
Distance entre la pointe avant et la cabine des passagers et de la troupe	10	
Absence de tendance à "labourer"	15	
Résistance aux charges longitudinales de l'impact	15	
Résistance aux charges verticales de l'impact	30	
Résistance aux charges latérales de l'impact	30	
Atténuation des contraintes verticales par le train d'atterrissage	20	
Emplacement du train d'atterrissage	5	
Total des points	125	

ÉVALUATION DES POSSIBILITÉS D'ÉVACUATION

	Nombre optimal	Valeur réelle
Facilité et fiabilité du fonctionnement des issues de secours	15	
Rapport entre issues de secours et occupants	15	
Identification des issues de secours	10	
Possibilités d'évacuation d'un aéronef couché sur le flanc	10	
Éclairage de secours	10	
Total des points	60	

ÉVALUATION DES OBJETS DANGEREUX DANS LA CABINE

	Nombre optimal	Valeur réelle
Proximité des commandes et autres objets saillants	10	
Assujettissement de l'équipement intérieur	10	
Secteur du palonnier	5	
Absence d'objets dangereux dans la cabine	5	
Total des points	30	

CRITÈRES D'ÉVALUATION

Généralités

Chacun des facteurs secondaires énumérés jusqu'ici sera brièvement commenté dans les pages qui suivent. En fait d'évaluation d'un aéronef, les facteurs secondaires devraient recevoir une valeur ponctuelle proportionnelle aux qualités recherchées dont nous avons fait état jusqu'ici.

SYSTÈME D'ASSUJETTISSEMENT DES MEMBRES DE L'ÉQUIPAGE

Capacité d'absorption de l'énergie verticale

Résultat optimal = 30 points

On devrait recourir à un moyen quelconque pour que la structure du siège puisse atténuer les forces verticales d'impact de manière à les ramener à une valeur d'environ 20 G au niveau de l'occupant. Cette décélération peut être obtenue au moyen d'un vérin qui, ayant au moins huit pouces de course, assure une protection dans le cas de la majorité des accidents d'aéronefs à voilure tournante. Si le dispositif d'absorption d'énergie est à charge fixe, il devrait pouvoir encaisser une charge d'environ 3000 livres. Cette valeur tient compte des paramètres suivants: (a) un siège baquet pesant 15 livres, (b) 80 pour cent seulement du poids total de l'occupant repose sur le siège, et (c) on tient compte d'un pilote du 5^{e} percentile (136 livres) pour permettre une décélération maximale de 25 G.

A.	Un dispositif d'absorption d'énergie du baquet de siège d'au moins 8 pouces	100%
B.	Un coussin non élastique d'au moins 4 pouces d'épaisseur d'un matériau en nid d'abeilles	40%
C.	Un coussin écrasable en mousse expansée d'au moins 4 pouces d'épaisseur	30%
D.	Une mousse expansée à faible rebondissement ("Ensolite" ou "Ethafoam")	20%
E.	Un coussin en caoutchouc-mousse élastique ou aucun matériau d'amortissement	0%

Forme et résistance des sangles d'assujettissement

Résultat optimal = 20 points

Toutes les sangles devraient avoir au moins 0,09 pouce d'épaisseur pour assurer une faible élongation et un minimum de froissement sous la charge. Il est souhaitable de matelasser les sangles en contact avec l'abdomen et la clavicule. La résistance et la largeur de la ceinture, de la bretelle et de la sangle d'entrejambes sont indiquées ci-après:

Article	Largeur (Pouces)	Résistance (Livres)
Ceinture	2,5	8 000(boucle)
Bretelles	2,0	4 000 total
Sangle d'entrejambes	1,5	2 500

Chacun des six facteurs d'assujettissement ci-dessus peut être évalué en pourcentage du nombre total de points de la manière suivante:

Épaisseur des sangles	10%
Résistance et largeur de la ceinture	40%
Résistance et largeur des bretelles	40%
Résistance et largeur de la sangle d'entrejambes	10%

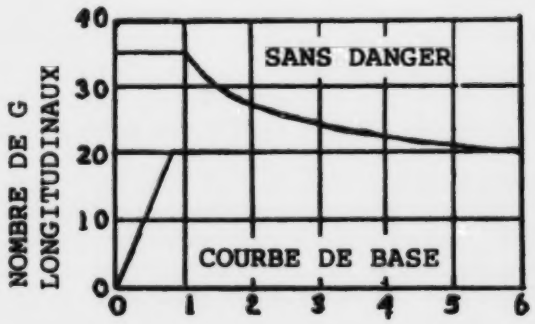
La résistance est plus importante que la largeur des sangles; c'est pourquoi le nombre de points alloués doit être proportionnel aux valeurs de résistance.

Résistance longitudinale du siège

Valeur optimale sur aéronef à voilure fixe = 15 points

Valeur optimale sur aéronef à voilure tournante = 10 points

Le nombre de G recherchés en fonction de la déformation se présente comme sur la figure suivante:



DÉFORMATION DU BAQUET DE SIÈGE EN POUCES

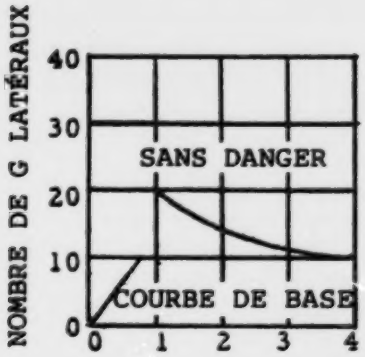
Fig. 13-1

Pour correspondre aux besoins, un siège doit présenter une courbe d'enfoncement sous la charge qui s'élève vers la gauche, passe au-dessus de la courbe de base et s'étend dans la région située au-delà de la courbe supérieure. Les courbes d'enfoncement sous la charge doivent être obtenues à partir d'essais au sol effectués avec des sièges comportant tous leurs accessoires.

Résistance latérale des sièges

Valeur optimale = 10 points

Le nombre de G recherchés en fonction de la déformation se présente comme sur la figure suivante:



DÉFLEXION LATÉRALE EN POUCES

Fig. 13-2

Résistance verticale du siège

Valeur optimale = 10 points

Puisque les pièces de fonte sont considérées comme manquant de ductilité, il n'y a pas lieu de donner d'explications à ce sujet. Si ces pièces sont utilisées dans une ou plusieurs parties soumises à des efforts considérables, la note doit être égale à zéro, à moins que la pièce de fonte soit réputée avoir été traitée pour assurer sa ductilité.

Largeur du guide de bretelle

Valeur optimale = 10 points

La largeur du guide de bretelle, au sommet du dossier de siège, ne devrait pas être supérieure à 3 pouces.

Angle de débattement de la bretelle

Valeur optimale = 5 points

Le guide de bretelle devrait être placé à 26 pouces au moins au-dessus du coussin de siège. Si les bretelles sont liées à la structure à l'arrière du dossier de siège, l'angle situé entre la bretelle et le coussin de siège devrait être compris entre zéro et 25 degrés vers le haut, comme le montre la figure 13-3.

*On devra déduire 20 pour cent de la note optimale pour chaque pouce d'écart par rapport à la cote de 26 pouces.

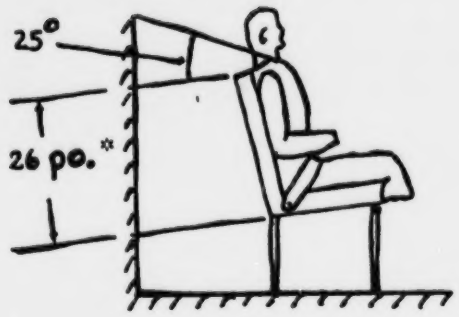


Fig. 13-3

Angle entre la ceinture et le coussin de siège

Valeur optimale = 5 points

L'axe de la ceinture devrait se présenter sous un angle de 45 à 55 degrés par rapport au coussin de siège. Un tel angle exige que l'axe se trouve à environ 3 pouces devant l'intersection du dossier et du coussin de siège.

Sangle d'entrejambes

Valeur optimale = 5 points

La ceinture devrait être maintenue en place sur le pelvis par une sangle d'entrejambes. Le mieux serait que celle-ci soit fixée entre le milieu de la ceinture et le baquet de siège. Une disposition moins intéressante consiste à fixer les deux sangles de part et d'autre du baquet de siège et de la partie antérieure de la ceinture. Dans ce cas, la note à allouer pour les sangles latérales devra être de la moitié seulement de celle qui s'applique à la sangle d'entrejambes.

Type d'enrouleur à inertie

Valeur optimale = 5 points

Tous les aéronefs à voilure tournante devraient être munis exclusivement d'un enrouleur à vitesse de déroulement déterminée (Norme MIL-R-8236, type MA-2 ou MA-6). On devrait vérifier le bon fonctionnement du mécanisme de blocage en donnant une secousse rapide.

Profondeur de la structure écrasable entre le plancher et le fond de fuselage

Valeur optimale = 10 points

Une section de fuselage circulaire avec deux (2) pieds de profondeur au minimum entre le plancher et le revêtement inférieur constitue la solution idéale. Un fond de fuselage plat se caractérise par une plus grande accélération à l'impact et une moindre déformation qu'un fond de fuselage à section circulaire. C'est pourquoi, de deux aéronefs ayant la même profondeur écrasable, celui dont le fond de fuselage sera plat n'aura que la moitié des points attribués à un fond circulaire.

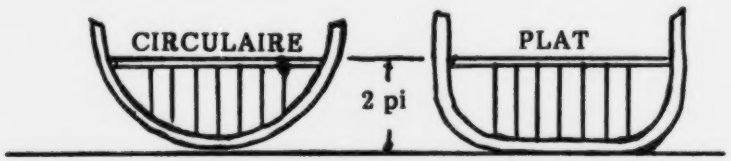


Fig. 13-4

SYSTÈME D'ASSUJETTISSEMENT DES TROUPES

Dans ce cas, les critères d'évaluation sont les mêmes qu'en ce qui concerne le système d'assujettissement de l'équipage, sous réserve des quelques exceptions indiquées ci-après.

Capacité d'absorption de l'énergie verticale

Valeur optimale = 30 points

Mêmes critères d'assujettissement que pour l'équipage

Forme et résistance des sangles d'assujettissement

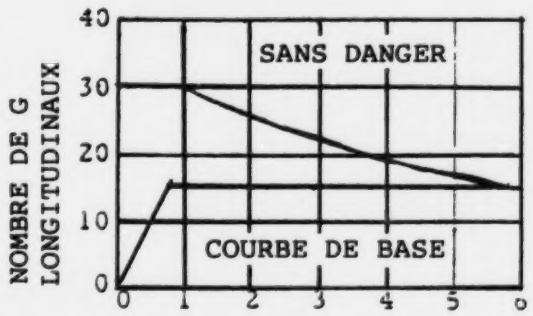
Valeur optimale = 20 points

Mêmes critères que pour l'assujettissement des membres d'équipage, sauf qu'une sangle latérale de 1500 livres de résistance peut être employée à la place de la sangle d'entrejambes pour le personnel assis perpendiculairement au sens de déplacement.

Résistance longitudinale du siège

Valeur optimale = 10 points

Le nombre de G longitudinaux recherchés en fonction de la déformation est indiqué ci-après.



DÉFORMATION DU BAQUET DE SIÈGE EN POUCES

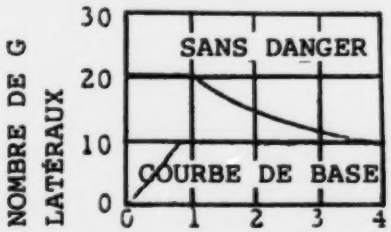
Fig. 13-5

Il convient de noter qu'il s'agit d'une charge latérale sur un siège perpendiculaire au sens de déplacement.

Résistance latérale du siège

Valeur optimale = 10 points

Le nombre de G latéraux recherchés en fonction de la déformation est indiqué ci-après.



BASE DE DÉFLECTION LATÉRALE EN POUCES

Fig. 13-6

Résistance verticale du siège

Mêmes critères que pour l'assujettissement des membres d'équipage

Valeur optimale = 10 points

Absence de pièces de fonte dans les régions soumises à des contraintes

Mêmes critères que pour l'assujettissement des membres d'équipage

Valeur optimale = 10 points

Angle de débattement

Mêmes critères que pour l'assujettissement des membres d'équipage

Valeur optimale = 10 points

Angle entre la ceinture et le coussin de siège

Mêmes critères que pour l'assujettissement des membres d'équipage

Valeur optimale = 10 points

Ceinture ou sangle latérale

Mêmes critères que pour l'assujettissement des membres d'équipage mais, un assujettissement par sangles latérales est également accepté avec une sangle d'entrejambes dans le cas des soldats assis perpendiculairement au sens de déplacement.

Valeur optimale = 5 points

Profondeur de la structure entre le plancher et le fond de fuselage

Mêmes critères que pour l'assujettissement des membres d'équipage

Valeur optimale = 10 points

ÉVALUATION DU RISQUE D'INCENDIE APRÈS IMPACT

Déversement au centre

Valeur optimale = 60 points

Retenue du carburant

Emplacement (20 % de la valeur totale) -12

L'emplacement du réservoir de carburant devrait faire l'objet d'une évaluation tenant compte de la région d'impact prévue, du volume habitable, de la présence de masses lourdes et de celle des causes premières d'incendies.

Vulnérabilité (20 % de la valeur totale) - 12

La vulnérabilité d'un réservoir de carburant devrait être évaluée en tenant compte des ruptures que peuvent causer les diverses défaillances structurelles de l'aéronef, par exemple celles d'un train d'atterrissage. Les déformations de réservoir résultant des avaries de structure, par exemple les ruptures qui se produisent autour d'une tubulure de remplissage, de l'orifice d'entrée et de sortie d'une conduite de carburant, des jauges et des dispositifs d'assujettissement devraient également être prises en considération.

Technique de construction (50 % de la valeur totale) - 30

La technique de construction est évaluée en tenant compte de deux éléments essentiels. Le premier est la forme du réservoir et le second est la nature des matériaux dont il est construit.

Forme du réservoir - 10

Les formes sans angles vifs sont celles auxquelles on attribue le plus grand nombre de points tandis que les formes irrégulières sont celles qui, avec les réservoirs cloisonnés, en reçoivent le moins.

Matériaux de construction des réservoirs j-20

Selon sa construction, on attribue au réservoir un certain nombre de points.

1.	Cellules de réservoir à parois résistantes	20
2.	Réservoir auto-obturant à l'épreuve des balles de calibre .50	10
3.	Réservoir auto-obturant et résistant à l'impact à l'épreuve des balles de calibre .30	10
4.	Bâche souple	5
5.	Boîte métallique	2
6.	Réservoir d'une pièce	0

Pompe de gavage (10 % de la valeur totale) - 6

La pompe de gavage du circuit de carburant devrait recevoir une note correspondant aux risques de déversement de carburant par rupture d'une cloison ou d'une canalisation. On tient compte de l'emplacement et du mode de fixation de la cloison de réservoir de carburant.

Retenue de l'huile et du liquide hydraulique

Valeur optimale = 20 points

Emplacement (34 % de la valeur totale) - 7

L'emplacement du réservoir d'huile recevra une note tenant compte de sa proximité de la région d'impact prévue, du volume utile, du voisinage de pièces lourdes et de causes principales d'incendie.

Vulnérabilité (34 % de la valeur totale) - 7

Évaluer du point de vue de la résistance à la rupture du fait des autres éléments de la structure de l'aéronef; par exemple, la rupture des biellettes de timonerie qui perforent le réservoir.

Modes de construction et de fixation (43 % de la valeur totale) - 6

Méthodes de construction - 3

Les méthodes de construction sont évaluées dans l'ordre décroissant des capacités de retenue de l'huile.

1. Réservoirs à bâche - 3 points

2. Réservoirs à vessie - 2 points

3. Réservoirs en tôle - 1 point

Qualité de la fixation

La qualité de la fixation devrait être évaluée principalement selon l'aptitude du système à maintenir le réservoir pendant une accélération caractéristique d'un impact.

Conduites des liquides inflammables

Valeur optimale = 30 points

Construction (33 % de la valeur totale) - 10

La construction des canalisations de carburant devrait être évaluée en tenant compte de la nature des tuyaux flexibles et des raccords. L'expérience a montré que les conduites rigides cèdent avant les conduites souples; c'est pourquoi on attribue aux conduites souples sous gaine d'acier le maximum de points. Dans cette phase de l'évaluation on tient également compte de la qualité des raccords. Moins il y en a, meilleure est la note. Les raccords à 90 degrés ne valent pas les raccords droits. Quel qu'il soit, un raccord ne vaut pas un tuyau d'une seule pièce. Les pièces d'aluminium résistent habituellement moins bien que les pièces d'acier.

Disposition des canalisations (33 % de la valeur totale) - 10

La disposition des canalisations de carburant présente beaucoup d'importance. Les canalisations ne doivent pas traverser des parties où elles peuvent être bloquées, sectionnées ou arrachées. Une longueur supplémentaire de tuyau (de 20 à 30 % dans les régions où une déformation de structure est probable) devrait être prévue. Les trous de passage des canalisations devraient être beaucoup plus larges que le diamètre extérieur du tuyau.

Ferrures frangibles (33 % de la valeur totale) - 10

Des ferrures frangibles devraient être montées sur chaque canalisation de carburant qui aboutit à un réservoir ou qui en sort. Il est également conseillé de bien choisir les emplacements où ces ferrures seront disposées d'un point à l'autre du circuit.

Cloison pare-feu

Valeur optimale = 9 points

Évaluer la cloison pare-feu du point de vue de sa qualité de fonctionnement en tant qu'écran capable d'empêcher un déversement de liquides causé par l'impact d'atteindre les diverses sources d'ignition du moteur.

Dispositifs d'interruption d'un écoulement de carburant

Valeur optimale = 9 points

Les dispositifs d'interruption d'un écoulement de carburant servent à arrêter ou à détourner l'écoulement des liquides inflammables qui se sont répandus. Il existe différents moyens de réaliser cette fonction; le rideau pare-feu de l'hélicoptère H-21 en est un bon exemple.

Prévention de l'incendie

Emplacement des flammes de l'admission et de l'échappement

Valeur optimale = 30 points

Évaluation à effectuer du point de vue de:

1. l'emplacement des flammes par rapport à celui des liquides inflammables déversés;

2. l'arrivée du carburant.

Emplacement des pièces de métal chaud et du blindage

Valeur optimale = 30 points

Évaluation à effectuer du point de vue de la qualité d'isolement des pièces chaudes (températures supérieures à 400°F) par rapport à un déversement de carburant. Les organes à considérer sont les suivants:

Moteur (intérieur et extérieur)

Échappement

Chauffage

Emplacement du moteur et résistance de son bâti

Valeur optimale = 15 points

Envisager les conséquences d'un détachement du moteur. Où le moteur ira-t-il et quelles seront les conséquences de son détachement sur le réservoir de carburant, l'échappement, le circuit électrique et les canalisations de carburant et d'huile? Le moteur sera-t-il en contact avec un déversement de liquides inflammables?

La résistance du système de fixation du moteur est plus importante dans le cas des hélicoptères dont les moteurs sont montés au-dessus ou juste derrière le réservoir de carburant; elle a moins de conséquences dans le cas des moteurs montés en nacelle.

Emplacement de la batterie et résistance de son bâti de fixation

Valeur optimale = 12 points

Évaluer du point de vue de la résistance de fixation au bâti et de la vulnérabilité de la batterie et de ses câbles en cas d'avarie à l'impact. La batterie devrait également se trouver aussi loin que possible des réservoirs de carburant et d'huile, ainsi que des endroits prévus de déversement de liquides inflammables.

Circuits électriques

Valeur optimale = 12 points

Évaluer du point de vue de la résistance à l'impact. Une certaine longueur supplémentaire (de 20 à 30 %) devrait être prévue pour tenir compte des déformations de la cellule au cours d'un accident.

Pompe de gavage

Valeur optimale = 12 points

La pompe de gavage devrait être évaluée compte tenu de ce qu'elle constitue une cause d'incendie. Les éléments suivants devraient être envisagés:

Alimentation (le système à pression d'air constitue la meilleure solution, après quoi vient le système hydraulique, suivi du système électrique, qui est le moins souhaitable).

Emplacement de la pompe. (La meilleure solution consiste en un circuit de dépression dont la pompe est placée sur le moteur. Une pompe placée à l'extérieur du réservoir est déjà moins satisfaisante, la pire solution étant la pompe montée à l'intérieur du réservoir.)

Transformateur-redresseur et résistance de son mode de fixation

Valeur optimale = 6 points

Évaluer du point de vue de la résistance de fixation et de la vulnérabilité aux avaries résultant d'un impact du convertisseur et de ses fils. Son emplacement devrait être aussi éloigné que possible des réservoirs de carburant et d'huile, ainsi que des déversements possibles de liquides inflammables.

Emplacement de la génératrice et résistance de son moyen de fixation

Valeur optimale = 6 points

Évaluer du point de vue de la résistance de la fixation et de la vulnérabilité aux avaries résultant d'un accident de la génératrice et de ses fils. L'emplacement devrait être situé aussi loin que possible des réservoirs de carburant et d'huile ainsi que des déversements de liquides inflammables.

Lumières (phares de recherche et de navigation)

Valeur optimale = 5 points

Les filaments ou les fils de l'ampoule se trouvent-ils à proximité immédiate de l'emplacement de fixation, dans une région où des écoulements de liquides inflammables sont possibles?

Emplacement de l'antenne

Valeur optimale = 4 points

Évaluer les antennes et leurs câblages respectifs du point de vue de la vulnérabilité aux avaries et de l'emplacement des déversements possibles de liquides inflammables.

CARACTÉRISTIQUES ESSENTIELLES DE RÉSISTANCE À L'ÉCRASEMENT DES CELLULES

Distance entre la pointe avant et le volume occupé par les troupes ou les passagers

Valeur optimale = 10 points

Cette particularité a de toute évidence de l'importance sur les caractéristiques de résistance à l'écrasement d'un aéronef quelconque, qu'il soit à voilure tournante ou à voilure fixe, tant que la force d'impact agit généralement selon l'axe longitudinal. Il faut par conséquent agir avec une certaine méthode pour aboutir à une évaluation approximative des avantages de l'adoption d'une structure présentant de meilleures qualités d'écrasement à l'avant de la première rangée de sièges de la cabine. On suppose que les exigences de l'aérodynamique, aussi bien que celles de la visibilité, continueront à obliger les équipages des aéronefs multimoteurs volant à plus de 200 milles à l'heure à prendre place à l'avant de l'appareil, où les structures écrasables qui les séparent d'un point d'impact probable sont peu épaisses. C'est pourquoi l'évaluation doit porter sur la partie de la cabine où se trouvent la majorité des occupants de l'aéronef. Dans le cas de la plupart des aéronefs de l'aviation générale, le poste de pilotage et la cabine doivent être considérés comme faisant un.

L'importance de la structure écrasable située devant les passagers devrait être logiquement conditionnée par la vitesse d'approche de l'aéronef puisque la plupart des accidents offrant des chances de survie se produisent à une vitesse égale ou inférieure à celle-ci. Par conséquent, un aéronef ayant une très faible vitesse de décrochage et d'approche peut nécessiter moins de structures écrasables qu'un aéronef à très grande vitesse d'approche et de décrochage.

La longueur optimale d'une structure écrasable ou distance de déformation peut être calculée pour diverses variantes au moyen de la formule suivante:

$$d = \frac{V_2^2 - V_1^2}{\frac{64}{G}}$$

dans laquelle

- d =distance totale de déformation
- V_2 =vitesse d'impact de l'aéronef en pieds par seconde
- V_1 =vitesse de l'aéronef après le principal impact, en pieds par seconde
- G =résistance à l'écrasement du fuselage

Les résultats des épreuves expérimentales ont montré qu'une valeur de 20 G constitue pour le fuselage une résistance raisonnable à l'écrasement. On suppose que longitudinalement, la structure d'un fuselage est compressible à raison d'environ 75 pour cent, les 25 pour cent restants étant incompressibles. Pour les besoins de ce calcul approximatif, il semble raisonnable de supposer en outre que la déformation du

terrain décale la partie incompressible du fuselage. Ainsi, la distance de déformation calculée (d) est considérée comme étant la longueur de l'aéronef entre l'extrémité de sa pointe avant et la première rangée de sièges des passagers ou de la troupe. L'impact le plus rude se produit quand on passe sans transition d'une vitesse d'approche à l'immobilisation; dans ce cas, le terme V_1 est zéro et la distance souhaitée (d) peut être calculée pour diverses vitesses d'approche, c'est-à-dire d'impact.

Des exemples de distances d'écrasement nécessaires sont calculés ci-après:

Vitesse d'impact (mi/h)	Vitesse d'impact (pi/s)	Distance nécessaire à l'écrasement (d) (pieds)		
40-55	60-80	$V^2 = (70)^2\ 64\ (20)$	=	3,8
55-60	80-100		=	6,3
68-82	100-120		=	9,4
82-95	120-140		=	13,0
95-109	140-160		=	18,0
109-122	160-180		=	23,0
122-136	180-200		=	28,0
136-150	200-220		=	34,0

Si l'on prend les valeurs ci-dessus comme guide, tout aéronef peut être approximativement évalué par rapport à un autre aéronef.

Absence de la tendance au "labourage"

Valeur optimale = 15 points

L'objectif essentiel est ici évident. La pointe avant et le fond de fuselage de l'aéronef devraient être assez mous et avoir des membrures suffisamment résistantes pour empêcher le labourage d'un sillon dans le sol. Le revêtement inférieur devrait être assez épais pour résister au déchirement, offrant ainsi une surface de glissade au sol.

Résistance aux charges longitudinales d'impact

Valeur optimale = 15 points

L'objectif essentiel consiste à prévoir une résistance suffisante pour empêcher le toit de l'aéronef de se déplacer vers l'avant et en bas par rapport à son plancher. Des lisses d'une seule pièce partant de la pointe avant de l'aéronef et passant au-dessous du plancher de la partie occupée constituent la meilleure solution puisque ce mode de construction empêchera probablement le plancher de se voiler vers le haut. Il est évident qu'il faut disposer d'une structure de paroi suffisante de chaque côté de l'aéronef pour empêcher l'effondrement résultant d'une résistance insuffisante au cisaillement. À cet égard, un fuselage comportant de nombreuses ouvertures de grandes dimensions est à proscrire. Toutes les masses groupées, qui peuvent au cours d'un accident constituer un danger pour les occupants, devraient rester arrimées jusqu'à une accélération de 20 G.

Résistance aux forces verticales d'impact

Valeur optimale = 30 points

La structure doit être évaluée selon sa résistance à l'écrasement du fait des charges verticales d'impact. Cela nécessite une évaluation simultanée de la résistance aux charges longitudinales d'impact puisque la résultante peut correspondre à la charge critique. Par exemple, l'hélicoptère UH-LA peut ne pas se désintégrer du fait des seules composantes verticales de l'impact mais les statistiques des accidents montrent l'existence fréquente d'une charge longitudinale, la charge résultante causant la rupture du toit de cet appareil.

Si le moteur et la transmission sont placés au-dessus de la cabine ou juste derrière elle, on recommande que la résistance d'assujettissement calculée ne soit pas inférieure à 20 G dans les sens longitudinal et vertical, de manière à empêcher toute pénétration de la cabine. Quelle que soit la résistance d'assujettissement, le fuselage doit comporter des cadres espacés de 20 pouces au plus, de façon qu'une quantité maximale d'énergie soit absorbée avant qu'une masse pénètre la structure.

Ces caractéristiques seront nécessairement évaluées de façon approximative; cependant, on dispose de certains critères d'étude valables. Par exemple, la résistance verticale de la coque de fuselage est habituellement déterminée par la résistance d'assujettissement du moteur et de la transmission du rotor et cette résistance d'assujettissement figure dans les spécifications du type d'aéronef. Par exemple, la structure du fuselage du "Cayman UH-2" est conçue pour résister à une charge de 20 G vers le bas à partir du moteur et de la transmission du rotor; ce fuselage est donc très solide.

Résistance aux charges latérales d'impact

Généralités

À évaluer compte tenu de la probabilité d'effondrement de la cabine au cours d'un capotage ou d'un impact latéral. Bien que l'évaluation de cette particularité soit difficile, certaines caractéristiques de conception sont bien connues, comme on l'indique ci-après:

Valeur optimale = 30 points

Lorsque tout un côté de la cabine est constitué par une porte, comme dans le UH-1A, il est évident qu'on se trouve en présence d'une structure très faible en cas d'accident avec capotage et qu'il y a lieu d'évaluer cette structure en conséquence. Pour prendre un cas tout à fait opposé, un fuselage circulaire avec peu de grandes ouvertures présentera au cours d'un capotage le maximum d'intégrité. Toutes les masses groupées, qui pourraient devenir dangereuses pour les occupants au cours d'un accident, devraient être maintenues en place jusqu'à une accélération de 15 G. Une résistance permettant de maintenir les masses en place jusqu'à 15 G est toujours recommandée dans le cas de l'ensemble transmission et rotor.

Atténuation des charges verticales du train d'atterrissage

Valeur optimale = 20 points

Le train d'atterrissage encaissera idéalement une force de 10 à 15 G vers le haut grâce à la course maximale de sa jambe de force, jusqu'au point auquel la structure du fuselage prend contact avec le sol et commence à absorber l'énergie. Diverses sortes de méthodes d'amortissement de l'énergie peuvent être utilisées pour permettre d'obtenir les résultats voulus. Par exemple, l'hélicoptère "Bell OH-4A" comporte des tubes de support latéral de paroi à diamètre décroissant, ce qui permet d'absorber l'énergie par fléchissement; d'autre part, l'hélicoptère "Sikorsky" du président des États-Unis est pourvu d'un système télescopique dans lequel le matériau en nid d'abeilles est écrasé.

L'importance des forces nécessaires pour déformer verticalement le train jusqu'à ce que le fond du fuselage soit en contact avec le sol devrait être connue pour permettre l'évaluation de ce facteur. La jambe oléopneumatique d'un aéronef normal constitue un mauvais mécanisme d'absorption de l'énergie car elle ne peut pas s'enfoncer assez vite lors des accidents les plus graves.

Emplacement du train d'atterrissage

Valeur optimale = 5 points

Évaluer les dommages qui seraient causés par cette grosse masse du fait de son déplacement au cours d'un accident. Par exemple, si le train d'atterrissage est placé juste sous le plancher de la cabine, la probabilité qu'il remonte dans le volume habitable doit être évaluée. En ce qui concerne le train d'atterrissage, il n'y a pas lieu d'évaluer les possibilités d'incendie puisqu'on l'a déjà fait sous le titre "Risques d'incendie après impact".

ÉVALUATION

Facilité et fiabilité du fonctionnement des portes et hublots de sortie

Valeur optimale = 15 points

Évaluer du point de vue de la simplicité de fonctionnement. Comprendre les portes d'entrée normales. Regarder si le mécanisme de largage est à "mouvement simple" sur toutes les portes et s'assurer que celles-ci peuvent être ouvertes de l'extérieur. Vérifier si les portes peuvent se coincer à la suite d'un accident, par suite de la déformation du fuselage. S'assurer que les sorties de secours sont disposées régulièrement dans toute la cabine pour être certain que les passagers ont tous à peu près la même distance à franchir entre leur siège et la sortie.

Rapport entre les sorties utilisables et le nombre d'occupants

Valeur optimale = 15 points

Quand on calcule ce rapport, on ne doit comprendre que celles des sorties qui sont à la disposition des occupants; ne pas comprendre, par exemple, les sorties du poste de pilotage dans le rapport relatif aux occupants de la cabine. Attribuer une note à ce rapport relatif aux occupants de la cabine. En attribuer une au rapport qui tient compte d'un temps d'évacuation de 30 secondes pour tous les occupants. Supposer qu'il faut à un occupant à peu près 1,5 seconde pour sortir par une issue de secours et que la moitié de ces issues peuvent être inutilisables si l'appareil s'immobilise sur le flanc. Dans ces conditions, il faut une sortie pour dix passagers. Une sortie supplémentaire est nécessaire si le nombre de passagers n'est pas exactement divisible par 10 (par exemple, il faudra trois sorties pour 21 passagers).

Identification des sorties

Valeur optimale = 10 points

Les sorties de secours devraient être bien indiquées et facilement reconnaissables comme telles. Les lettres d'identification devraient avoir au moins 3/4 de pouce de haut et être visibles dans l'obscurité grâce à un moyen d'éclairage de secours. Les consignes d'utilisation devraient pouvoir se lire facilement; leurs lettres devraient avoir au moins 1/3 de pouce de hauteur et leur couleur devrait contraster avec le fond, rouge sur blanc ou vice versa. On devrait indiquer aux passagers la sortie qu'ils devraient emprunter compte tenu de leurs places respectives. Il faudrait à cet effet afficher les indications voulues sur la paroi ou sur le dossier du passager précédent; ce moyen est jugé nécessaire pour réduire la panique et la confusion en cas de situation d'urgence. Dans le cas d'un aéronef n'ayant pas plus de neuf passagers, il n'y a pas lieu d'afficher des consignes écrites sur les sorties puisque au moins une porte d'entrée existe et que son emplacement, tout comme son accès, est évident.

Disponibilité des sorties sur un aéronef qui a versé sur le flanc

Valeur optimale = 10 points

Employer le rapport dont nous venons de parler en tenant compte que l'aéronef a versé d'un côté ou de l'autre, ce qui rend impraticable un certain nombre de sorties de secours. Tenir compte des dimensions des sorties disponibles (au moins 22 pouces carrés) et de la hauteur de la paroi opposée. Une largeur de fuselage de 5 pieds ou davantage est jugée excessive pour permettre à un occupant d'atteindre une sortie en grimpant.

Éclairage de secours

Valeur optimale = 10 points

Vérifier le système utilisé: commutateur d'impact (déclenchement à un certain nombre de G) ou mise en oeuvre manuelle; une combinaison des deux est préférée. S'assurer que l'alimentation électrique est indépendante.

RISQUES INHÉRENTS À L'AMÉNAGEMENT DU VOLUME HABITABLE

Proximité des tableaux de bord et autre structure

Valeur optimale = 10 points

S'assurer que les membres d'équipage peuvent atteindre les tableaux de bord quand ils sont assujettis avec une ceinture et des bretelles. S'assurer que les bretelles permettent le mouvement latéral et voir jusqu'où la main peut porter dans ces conditions. Faire cette évaluation en réglant le siège d'une butée à l'autre.

Assujettissement de l'équipement intérieur

Valeur optimale = 10 points

Vérifier la résistance des moyens de fixation de l'équipement tels que les bouteilles d'extincteurs, les boîtes à outils, etc., l'évaluation étant fondée sur une valeur optimale de 25 G.

Emplacement des pédales anti-couple

Valeur optimale = 5 points

Évaluer la possibilité d'emprisonnement du pied entre les pédales du palonnier et la structure adjacente. Voir si cette partie peut s'enfoncer facilement contre les pieds pendant un accident. Les pédales du palonnier devraient soutenir aussi bien le métatarse que le talon. Un palonnier constitué d'une simple barre ne convient pas.

Absence d'objets dangereux dans la cabine

Valeur optimale = 5 points

S'assurer qu'il n'y a pas d'angles vifs, de saillies, etc., à proximité des sièges.

CHAPITRE XIV

AGIR POUR SURVIVRE

Jusqu'ici, ce livre s'est occupé de bien des choses. On voit désormais que le pilote d'hélicoptère est un être humain vulnérable qui, dans les meilleures conditions, se comporte d'une façon différente de celle des autres aviateurs. Il est constamment exposé à des contraintes considérables qui diminuent ses moyens d'action et son bien-être. La nature critique du pilotage des hélicoptères et les contraintes qu'il impose à l'homme comptent pour beaucoup dans l'explication des nombreux accidents d'hélicoptères.

TROUSSE DE SURVIE

Fig. 14-1 par G. Shorey

Ce chapitre, qui vise aussi bien le pilote que l'exploitant d'hélicoptères, fournira quelques suggestions quant aux moyens possibles de réduire le taux d'accidents et de conserver au pilote sa santé et son bien-être, assurant ainsi la protection de deux éléments de grand prix, le pilote et sa machine.

Protection en cas d'accident

Il est évident que les accidents d'hélicoptères continueront à se produire, bien que, nous l'espérons, moins fréquemment qu'aujourd'hui. On note avec satisfaction que certaines compagnies réalisent de grands progrès en fait d'amélioration des caractéristiques de résistance aux accidents des hélicoptères, notamment en ce qui a trait à l'absorption de l'énergie et à la sécurité des circuits de carburant. Cependant, il existe un certain nombre de choses que le pilote peut faire lui-même pour mieux se protéger, particulièrement avec les appareils qui n'ont pas été pourvus en rattrapage de systèmes améliorés de résistance à l'impact.

En hélicoptère, les deux causes principales d'accidents mortels, comme nous l'avons montré au chapitre précédent, sont les lésions crâniennes et l'incendie. Il s'ensuit donc que l'emploi de bretelles, pour empêcher la désolidarisation de la partie supérieure du torse ainsi que, autant que possible, l'emploi des casques par les pilotes d'hélicoptères et leurs passagers, serviront à diminuer les conséquences des blessures à la tête. La question de savoir si, lorsqu'on utilise des harnais, le fait de porter un casque réduit effectivement la gravité des blessures à la tête dans les accidents d'hélicoptères est plus ou moins controversée mais il importe de se rappeler que dans ce genre d'accidents, la pénétration de la cabine se produit fréquemment. Il peut s'agir de branches d'arbres, d'autres corps étrangers ou encore de la pénétration par le rotor d'une partie de l'hélicoptère.

On trouve plusieurs casques de bonne qualité sur le marché et si l'on examine ceux que portent les militaires américains et canadiens, il est possible de savoir quels genres de casques assurent la meilleure protection. Un casque devrait être relativement léger et permettre une ventilation suffisante autour de la tête. Il devrait être de couleur claire afin d'empêcher l'absorption de la chaleur; il devrait aussi permettre de remuer librement la tête; il devrait enfin ne pas faire obstacle à la vision périphérique. Il devrait de préférence être pourvu de protège-oreilles permettant d'entendre les conversations et, dans ce cas, il devrait comporter des écouteurs et un microphone à perche. Il devrait comporter le minimum de parties saillantes pour éviter de s'accrocher aux structures en cas de tentatives d'évacuation d'une épave.

On trouve de nombreux casques de pilotes d'hélicoptères qui comportent une visière incorporée avec partie claire et partie teintée. Ces casques assurent une certaine protection du visage et des yeux en cas de fracassement de la bulle d'un hélicoptère.

Une compagnie canadienne au moins a acheté des casques pour ses pilotes. Au cours d'une discussion sur les problèmes possibles avec l'agent de sécurité en vol, on a fait remarquer que les passagers de l'hélicoptère semblaient apprécier le fait que le pilote porte un casque. D'après les passagers, le pilote du moins ne serait pas assommé au moment de l'écrasement et serait par conséquent en mesure de les rescaper.

On ne doit retirer son casque qu'<u>après</u> être sorti de l'épave.

Sièges absorbants

On ne trouve généralement pas de sièges absorbants dans les hélicoptères construits avant environ 1975. Au moins un constructeur, Bell, installe en série des sièges absorbants sur tous ses modèles actuels. Un de ces types de sièges fonctionne à l'aide d'un piston qui exerce une pression à l'intérieur d'un tube de fibre de carbone, alors que les autres absorbent l'énergie d'impact par la flexion de fils dont la tension est maintenue par un système de poulies. Bien que les sièges absorbants feront éventuellement partie de l'équipement de tous les hélicoptères, un grand nombre en est encore privé. On suggère par conséquent d'installer un matériau absorbant à l'intérieur des coussins des sièges. Il est relativement simple de retirer le rembourrage des coussins et de le remplacer par de la mousse absorbante. Un de ces types de mousse est le "Temper Foam", matériau de polyuréthane expansé qui allie souplesse, durabilité et légèreté. À l'origine, ce matériau a été conçu pour les astronautes de la NASA, afin de rendre les vols de longue durée plus confortables et d'absorber les forces G au moment du décollage et de l'amerrissage. Cette mousse est disponible à divers degrés de fermeté. On a déterminé que la combinaison d'une couche de mousse souple et d'une couche légèrement plus ferme convenait aux sièges d'avion et améliorait considérablement le confort ainsi que l'étouffement des vibrations. Par temps froid, elle perd néanmoins un peu de souplesse et par conséquent une partie de ses qualités d'étouffement des vibrations, mais elle demeure indéniablement supérieure au caoutchouc-mousse standard.

Harnais

Dans la mesure du possible, on devrait installer des harnais, de préférence dotés d'un enrouleur, dans tous les aéronefs. On trouve sur le marché des harnais pour la plupart des modèles d'hélicoptères. Lorsque l'aéronef en est doté, le pilote doit s'assurer de le porter, puisque ce dispositif permet non seulement d'éviter les blessures à la tête mais aussi d'atténuer les douleurs dorsales.

Protection en cas d'incendie

Comme le risque d'incendie après l'écrasement est élevé pour nombre de modèles d'hélicoptères, en particulier les plus anciens, il convient par conséquent de porter des vêtements ignifuges quelconques. Il est préférable d'éviter les matières synthétiques, quoiqu'il existe sur le marché au moins un type de nylon, le "Nomex" qui résiste à la chaleur. Ce matériel a permis d'éviter des brûlures et de sauver la vie de nombreux pilotes, en particulier militaires. Les matériaux synthétiques normaux ont tendance à fondre, ce qui entraîne de graves brûlures.

Si l'on ne peut se procurer du matériel comme le Nomex, on doit porter des matériaux comme le denim, la laine ou le coton.

Les gants et les bottes offrent une bonne protection contre les brûlures. On doit insérer le bas des jambes de pantalon à l'intérieur des bottes afin d'éviter qu'elles ne fassent office de cheminée, ce qui peut accroître la gravité des brûlures. De même, la chemise ou la veste doit être soit cintrée ou portée sous la ceinture. Quoi qu'il en soit, il est préférable de porter une combinaison de vol.

On trouve parfois, dans les magasins de surplus militaire, des gants confectionnés de cuir et de Nomex. Ils sont préférables aux gants de cuir qui se contractent à la chaleur et en cas d'incendie.

Le pilote devrait prendre un soin considérable de son hygiène afin d'éviter le risque d'infection en cas de blessures ou de brûlures. Bien que le port des cheveux longs ou de la barbe soit controversé, nous prônons néanmoins les cheveux courts et un visage entièrement glabre afin d'éviter l'embrasement en cas d'incendie. Cela peut déplaire à certains pilotes d'hélicoptères qui semblent préférer une apparence velue.

Position en cas d'écrasement

Un bulletin de sécurité des opérations daté du 27 juin 1980, de la société Bell Helicopter Textron, suggère qu'en prévision d'un atterrissage violent ou d'un écrasement, les positions suivantes offrent une meilleure sécurité à l'équipage et aux passagers:

1. Sièges dotés d'une ceinture de sécurité

   Les passagers doivent se pencher jusqu'à ce que leur poitrine repose sur leurs cuisses et joindre leurs mains sous celles-ci afin de conserver la position. Les passagers des places avant doivent prendre soin de ne pas entraver le contrôle des commandes de l'appareil.

2. Sièges munis de ceintures et de harnais de sécurité

   Les occupants doivent se tenir le dos droit et pressé contre le dossier. Lorsqu'on peut verrouiller l'enrouleur et que le temps et les circonstances le permettent, il convient de le faire. À moins que leur aide soit requise, les passagers doivent se servir de leurs bras pour se maintenir en position verticale.

Survie

Il est essentiel d'avoir quelques connaissances sur la survie en différents environnements. Il existe d'excellents cours et d'excellents livres sur le sujet et les pilotes devraient s'en prévaloir ou s'en prémunir à la première occasion. Bien qu'il n'y ait pas lieu de s'étendre longuement, nous aimerions toutefois mentionner des règles importantes.

1. Habillez-vous comme si vous aviez à passer la nuit dehors.

2. Ayez toujours en poche certains articles de survie - rien n'est plus désespérant que de voir une trousse de survie s'envoler en fumée. En ce qui concerne l'alimentation, on peut enfreindre les règles normales à propos des glucides - les sucres apportent l'énergie voulue et requièrent peu d'eau. On peut envelopper certains articles, comme des bonbons, du sucre d'orge par exemple, et des allumettes dans un sac à déchets (un article utile en soi) et l'enfoncer dans une poche. Assurez-vous d'être muni d'un produit anti-moustiques.

3. Conservez ces priorités à l'esprit:

(a) Protection - des éléments.

(b) Situation - faites en sorte qu'on puisse vous apercevoir.

(c) Eau - trouvez une source d'approvisionnement en eau.

(d) Nourriture.

ASPECTS RELATIFS À LA SANTÉ

Protection de l'ouïe

Étant donné le niveau élevé de la pression acoustique à l'intérieur et à proximité des hélicoptères, les pilotes, l'équipage ainsi que les passagers devraient avoir recours à une forme quelconque de protection de l'ouïe. Les protège-tympans contribuent dans une certaine mesure à diminuer le niveau de la pression acoustique sur le tympan, mais les antiphones, qui recouvrent toute l'oreille sont beaucoup plus efficaces. Lorsque l'exposition est de courte durée, on peut distribuer des protège-tympans à jeter après usage aux passagers et aux membres de l'équipage. Pour des expositions de plus longue durée toutefois, il convient d'utiliser des antiphones.

Les pilotes et les membres des équipages devraient porter des casques munis d'antiphones ou des écouteurs dotés de bonnes propriétés d'atténuation des sons. Il existe plusieurs bonnes marques sur le marché, dont les casques radio David Clarke et Télex.

Étouffement des vibrations

Dans les hélicoptères, l'étouffement des vibrations revêt une importance extrême car il permet de réduire les maux qu'entraîne l'exposition constante aux vibrations. Comme nous l'avons mentionné plus tôt, les vibrations entraînent non seulement des problèmes dorsaux mais aussi des effets néfastes chez les femmes enceintes lorsque la fréquence de résonance de l'utérus est atteinte.

Mal de dos

Afin de réduire l'incidence du mal de dos, on recommande aux pilotes de maintenir un poids idéal. Ils devraient également se tenir droits et éviter de s'appuyer sur la gauche ou de contorsionner leur colonne vertébrale. Au cours d'opérations policières, où il est parfois nécessaire de tenir à la main des jumelles ou une caméra, il est recommandé de les appuyer d'une façon quelconque et de procurer un certain soutien dorsal. Comme nous l'avons mentionné dans un chapitre précédent, il s'est avéré que les supports lombaires permettent de réduire le mal de dos chez les pilotes. On recommande aux pilotes de se procurer l'un des modèles disponibles sur le marché et d'en faire l'expérience, bien avant que le mal ne les atteigne. Le fait d'être bien harnaché procure également un certain soutien et diminue la fatigue.

Alimentation

Les pilotes devraient s'en tenir à une diète bien équilibrée et nutritive. Il convient d'éviter les aliments gras et les simples glucides. Afin de maintenir une valeur de sucre sanguin raisonnablement uniforme, on recommande de prendre de légères collations. Ces collations peuvent consister de céréales granolas, de fruits ou de tout autre aliment faible en matières grasses et en glucide.

Le petit-déjeuner constitue le repas le plus important de la journée et ne devrait pas être évité. De même, il convient de prendre les autres repas de façon aussi régulière que possible et ceux-ci devraient être abondants en légumes frais, en salades et en fruits frais. Il est préférable d'éviter les desserts sucrés, les aliments gras et les sauces. On sait que les diètes qui comportent une forte proportion de légumes et de fibres sont saines puisqu'elles préviennent l'hypoglycémie, le diabète, l'artériosclérose et l'hypertension.

Les pilotes devraient se livrer à toute forme régulière d'exercice, par exemple le jogging, la marche ou la nage. Cela contribue au sentiment de bien-être, à la vivacité ainsi qu'au tonus musculaire. Selon une étude de la British Airways, les exercices de relaxation se sont avérés efficaces dans le traitement des maux de dos chez certains individus. Par climat froid ou à haute altitude comme dans le vol en régions montagneuses, on doit porter une attention particulière à l'alimentation. Dans les environnements chauds et humides, certains experts recommandent l'ingestion de suppléments de sel, bien qu'il soit généralement suffisant d'ajouter un peu de sel aux aliments.

Alcool

On doit éviter à tout prix une consommation excessive d'alcool. L'alcool entraîne non seulement l'hypoglycémie mais contribue également à l'hypoxie puisqu'il empoisonne les cellules (hypoxie histotoxique). Une personne qui vole avec une gueule de bois est condamnée à éprouver certains problèmes de traitement des informations puisque son système nerveux devient extrêmement sensible et que la capacité de filtrer les informations voulues des informations non voulues est affaiblie. Cela peut entraîner le rétrécissement du champ d'attention et du champ visuel, en particulier lorsque les circonstances exigent beaucoup de concentration et d'habileté. On sait également que l'alcool entraîne l'éclaircissement du fluide de l'oreille interne, ce qui affaiblit la tolérance à la désorientation, en particulier à la désorientation vestibulaire. Le nystagmus (secousse rythmique involontaire des globes oculaires) a été observé chez beaucoup de sujets plus de 24 à 48 heures après la consommation d'alcool. Une bonne règle à suivre est la suivante: 12 heures entre la bouteille et les gaz ou 8 heures entre le bouchon et l'habitacle. Toutefois, lorsque la quantité consommée est immodérée, il est préférable de prolonger cette période. Le pilote devrait être en mesure d'évaluer ses propres capacités à ce sujet et lorsqu'il ne se sent pas dans son assiette, il n'est probablement pas en état de voler. Il convient également de se rappeler qu'une gueule de bois accroît les prédispositions au tremblotement et aux convulsions et diminue la tolérance aux forces G.

Le tabac

Le tabac constitue non seulement un facteur de distraction, mais exerce également d'autres effets sur le pilote et sur l'appareil. Les appareils gyroscopiques en particulier sont sensibles et incapables de filtrer tout le goudron. De longues périodes d'exposition à la fumée du tabac ne peuvent que les dérégler. La fumée recouvre également d'une pellicule l'intérieur de la bulle et accroît la possibilité de formation de buée ou d'un halo. En ce qui concerne le pilote, le tabac entraîne non seulement l'hypoxie à court terme, mais multiplie les risques pour la santé.

Non seulement le tabac gêne le rendement dans l'habitacle, mais il entraîne parfois des états chroniques qui peuvent mener à la perte de la licence. Une personne de 30 ans qui fume deux paquets de cigarettes par jour vivra, selon les statistiques, 8,5 années de moins qu'un non-fumeur du même âge; ces conditions risquent d'entraîner le retrait de la licence à un âge relativement jeune. L'usage de la cigarette affaiblit les capacités des passages respiratoires de rejet du mucus et des débris, ce qui entraîne une prédisposition à la trachéite, à la bronchite et à d'autres infections. Des maladies chroniques comme l'emphysème, qui diminuent d'abord le souffle et font par la suite de la personne un infirme respiratoire sont plus fréquentes chez les fumeurs; l'usage de la cigarette est responsable de 75 % des cas d'emphysème. Il est bien connu que le risque du cancer du poumon est beaucoup plus élevé chez les fumeurs, où l'on retrouve également une plus forte incidence du cancer du larynx, du pharynx, de la bouche, de l'oesophage, du pancréas et de la vessie.

Il est reconnu que l'usage de la cigarette prédispose à l'artériosclérose. Le risque statistique de subir une crise cardiaque est six fois plus élevé chez les fumeurs que chez les non-fumeurs. Les fumeurs peuvent également être atteints de maladies oculaires comme l'inflammation du nerf optique, ce qui entraîne des taches aveugles. Enfin les produits combustibles du tabac ont un effet irritant direct sur la cornée et les tissus conjonctivaux du pilote et des passagers.

Outre ces aspects spécifiques, la cigarette accroît la fatigue, contribue au mal de tête, à la toux chronique, à la nervosité, à diminuer le souffle et nuit à la santé en général, maux qui tous contribuent au facteur cause, souvent évident, dans les accidents d'avion, soit "le manque de jugement".

Usage de médicaments sans ordonnance

L'usage de médicaments sans ordonnance n'est pas recommandé pour deux raisons principales. D'abord, le malaise qui contraint une personne à prendre un médicament peut perturber ses facultés mentales. S'il peut s'agir d'une simple distraction due à la douleur, le fonctionnement du cerveau peut être néanmoins atteint. La plupart des médicaments ont en outre des effets secondaires. Il est rare qu'un médicament n'exerce un effet que sur le seul malaise pour lequel il est pris sans affecter d'autres systèmes ou entraîner d'autres symptômes.

On doit se rappeler qu'un symptôme qui semble tout à fait bénin chez le médecin ou chez soi peut devenir extrêmement douloureux au cours d'une manoeuvre critique et entraîner un accident. Lorsqu'un pilote d'hélicoptère consulte un médecin, il doit l'informer de la nature de son métier puisque cela peut modifier les prescriptions ou les recommandations formulées.

Vision

Les yeux d'un pilote constituent son bien le plus précieux et il doit en prendre soin afin de conserver une bonne vision. Les mesures à suivre comportent la protection des yeux lorsque le vent ou la poussière souffle à proximité de produits chimiques toxiques ou en atelier d'usinage. Un pilote atteint de presbytie ne doit pas se montrer récalcitrant à la corriger. Si l'on a besoin de verres à double foyer, il convient de s'en procurer d'un genre approprié de façon à ce qu'ils diminuent le moins possible le champ visuel. Lorsque l'appareil utilisé est muni d'un panneau de toit, les verres peuvent être formulés de façon à ce que la vue soit aussi corrigée vers le haut.

L'éblouissement est parfois ennuyeux et gêne le pilotage. Les principaux types d'éblouissement sont l'éblouissement voilé, entraîné par la présence de poussière ou d'égratignures sur la surface de la bulle, la dispersion inter-oculaire et l'éblouissement scotomateux, où la rétine est décolorée suite à une exposition à une lumière éblouissante.

Les verres de soleil permettent de réduire considérablement la fatigue entraînée par l'éblouissement. Il est préférable que ces verres soient légers, que leur monture soit relativement petite, mais suffisamment importante pour couvrir l'ensemble des champs de vision. Si l'on recommande des verres d'un gris neutre afin de prévenir la distorsion des couleurs, la plupart des verres teintés en vert conviennent également. Nous avons personnellement essayé les verres photo-sensibles de type "ambermatic" et nous nous sommes rendu compte qu'ils changent assez rapidement de teinte pour convenir au pilotage d'hélicoptère.

Par ailleurs, des études menées au moyen de plaques isochromes ont révélé que les verres de type "ambermatic" entraînent moins d'erreurs de perception des couleurs que ceux teintés en vert, en particulier dans la bande bleue du spectre. Sur certaines bulles ou pare-brises d'hélicoptères, on remarque la présence d'anneaux d'interférence (anneaux de Newton) lorsqu'on porte des verres polarisés. Si ces verres réduisent efficacement l'éblouissement, il convient néanmoins d'éviter d'en porter lorsque les parois vitrées de l'appareil présentent de tels anneaux.

Pour le vol de nuit, il est nécessaire que l'habitacle soit convenablement éclairé. On doit régler l'intensité de l'éclairage de manière à ce qu'il soit confortable et que les yeux ne soient pas soumis à un effort inutile. La lumière rouge est une cause de myopie chez les pilotes d'un certain âge. C'est là souvent un symptôme de la presbytie. Dans les avions modernes, on a généralement recours à une lumière blanche et douce, qui en réalité s'inscrit dans la bande rouge du spectre.

ASPECTS RELATIFS À LA SÉCURITÉ

Fatigue

Comme l'indique l'étude de Billings, la fatigue intervient assez rapidement dans le pilotage d'hélicoptère, soit après aussi peu que deux heures, même chez les pilotes expérimentés. C'est pourquoi, plus la journée avance, plus il convient de se montrer vigilant. Le repos et l'alimentation appropriés sont deux facteurs qui contribuent à prévenir la fatigue. Comme nous l'avons mentionné, l'usage du tabac entraîne la fatigue, comme d'autres contraintes telles que le bruit, les vibrations, le tremblement et la température.

Exécution des missions

Beaucoup d'accidents sont le résultat d'un excès de zèle. Il convient d'évaluer avec réalisme les circonstances, en particulier lorsque le temps se détériore ou que l'opération présente certains risques.

Un accident récent (1981) illustre bien cet aspect: le pilote vérificateur d'une compagnie faisait subir un examen à un nouveau pilote lorsqu'ils sont tombés dans un lac. Le temps était brumeux et même les oiseaux ne volaient pas. Le pilote vérificateur, qui en est décédé, se préparait à partir en vacances dans le sud le lendemain matin. Cet exemple s'applique également aux états suivants:

L'envie de rentrer chez soi

Cela est parfois un phénomène des plus dévastateurs, surtout après de longues périodes d'isolement où le vendredi après-midi, lorsque le retour vers un cadre plus agréable peut exacerber la motivation à tel point que toute notion de sécurité soit oubliée. Encore une fois, lorsque le temps se détériore ou en présence de certains risques, il convient d'évaluer les circonstances avec réalisme.

Syndrome de la réussite

Ce syndrome apparaît chez les pilotes qui ont traversé des moments difficiles ou des conditions météo pénibles et dans un environnement plus familier. Il arrive qu'après une forte période de tension psychologique, se produise une chute de la vigilance, ce qui peut entraîner une certaine négligence ou des erreurs, en particulier par omission. On remarque ce phénomène chez les instructeurs de vol, qui, lorsque leurs élèves viennent de réussir leurs examens, peuvent commettre des erreurs en posant ou en oubliant de poser certains gestes, ce qui serait normalement impensable en toutes autres circonstances.

Ce syndrome apparaît également chez le pilote qui, après avoir rencontré du mauvais temps dans un environnement plus familier se détend, trop parfois, au point de se permettre une bévue et de commettre une erreur ridicule, par exemple entrer en collision avec un autre aéronef au moment où il roule au sol. Un pilote doit se rappeler qu'il est exposé aux accidents jusqu'au moment où il prend place, chez lui, dans son fauteuil à bascule.

Lorsque le temps se détériore

Les pilotes d'hélicoptères sont portés à voler lorsque le temps se détériore tout comme ils sont capables de faire du rase-mottes à faible vitesse. Comme nous l'avons mentionné plus tôt cependant, cela peut entraîner des accidents.

Une autre cause d'accidents est le temps laiteux. Les pilotes doivent se rappeler des mesures à prendre en tel cas et disposer d'une formation de base sur le pilotage aux instruments afin d'être en mesure de parvenir à des meilleures conditions de visibilité. Malheureusement, beaucoup de ces accidents sont le résultat d'un impact contrôlé avec le sol.

Manipulation des produits chimiques

Les hélicoptères jouent un rôle de plus en plus important dans les opérations agricoles, en raison de leur capacité à voler en rase-mottes à des vitesses relativement faibles, et de la turbulence des rotors qui permet une distribution plus uniforme des produits chimiques sur la face inférieure des feuilles par exemple, etc. Les pilotes doivent être conscients du fait qu'ils répandent fréquemment des produits extrêmement toxiques, en particulier lorsqu'il s'agit d'organophosphates ou de carbamates qui ont les mêmes effets que les gaz neurotoxiques. La toxicité de certains produits chimiques est telle qu'une seule goutte dans un oeil peut entraîner la cécité ou la mort.

Les pilotes qui manipulent des produits chimiques doivent prendre connaissance du mode d'emploi du manufacturier et toutes les précautions nécessaires. Avant de procéder à des opérations dans une région donnée, il convient d'informer l'hôpital local de la nature des produits répandus et lui faire part des renseignements nécessaires en ce qui concerne les antidotes.

Un pilote ne devrait pas prendre part au mélange ou à l'embarquement des produits chimiques et devrait se tenir à l'écart et dans le sens contraire du vent au moment de ces opérations. Les pilotes comme le personnel au sol ne devraient pas fumer ou manger à proximité de produits chimiques, afin d'en éviter l'absorption. Il est extrêmement important de prendre soin de la propreté et de l'hygiène de sa personne. On doit si possible nettoyer ses vêtements chaque jour et une fois le travail terminé prendre une douche, se savonner complètement et se rincer de fond en comble. Il convient de tenir l'appareil aussi propre que possible et de se rappeler qu'une certaine quantité de produits chimiques s'infiltre inévitablement à l'intérieur de l'habitacle, à cause du phénomène de recirculation. C'est pourquoi le pilote doit porter un matériel de protection approprié et suivre les instructions fournies avec ce matériel. Les filtres de certains masques n'ont une durée utile que de huit heures. Ce matériel doit être choisi en vue de la protection des yeux et du système respiratoire. Il convient de porter des vêtements qui offrent une certaine protection, comme des gants et des bleus de travail et comme nous l'avons mentionné plus tôt, de les nettoyer chaque jour.

Dès qu'un pilote éprouve un malaise, il doit consulter un médecin. L'usage de l'atropine diminue les capacités sudatoires et perturbe également la vision. Des cas d'atropinisme ont été rapportés chez des pilotes qui se sont prescrits de trop fortes doses.

Virages à basse altitude

Les virages à basse altitude exécutés par vents violents peuvent entraîner des illusions d'optique et causer le croisement des commandes. Les pilotes inexpérimentés ont tendance à vouloir tourner autour d'un objet fixe au sol. Lorsque le virage est exécuté par vent arrière, il peut en résulter un virage trop serré et le croisement des commandes. Un virage exécuté par vent debout peut entraîner une perte de vitesse aérienne puisqu'il est possible que le pilote tente par inadvertance de conserver une vitesse constante par rapport au sol. Le pilote doit par conséquent prêter attention à la vitesse aérienne, à l'altimètre et au compas afin d'assurer la coordination des virages.

Collisions avec les lignes électriques

Les collisions avec les lignes électriques sont la cause de nombreux accidents d'hélicoptères. Les pilotes doivent savoir exactement où s'attendre à les rencontrer et être au fait des techniques d'évitement. Il convient de prévoir l'installation de dispositifs à cet effet sur les hélicoptères exploités à basse altitude et à haute vitesse.

Avant de procéder à des opérations agricoles ou de recourir à un nouveau point d'atterrissage, il convient d'étudier les lieux, de préférence au sol.

Exposé aux passagers

Avant le vol, il convient d'exposer aux passagers les dangers que constituent le rotor de queue et le rotor principal, et les instruire sur la façon de s'approcher de l'hélicoptère. Il convient de se rappeler que si les passagers ont l'habitude d'avions à voilure fixe, ils ont par conséquent l'habitude de s'approcher de l'arrière, ce qui présente certains dangers dans le cas des hélicoptères. Si possible, on doit assurer la sécurité des zones d'embarquement des passagers et prévenir toute circulation inutile à proximité des appareils. On peut se procurer des affiches et des brochures qui illustrent les façons les plus sûres de s'approcher d'un hélicoptère comme les pratiques les moins sûres, par exemple s'approcher en descendant d'un appareil dont les rotors tournent.

Bien poster l'appareil permet d'éviter aux passagers de s'approcher de l'hélicoptère en suivant un trajet dangereux.

EXPLOITANTS

Les exploitants d'hélicoptères peuvent énormément contribuer à améliorer le lot des pilotes d'hélicoptères et la sécurité des opérations. Les règlements relatifs à la sécurité devraient être appliqués par un personnel de surveillance, et on devrait encourager les pilotes à prendre soin de leur santé.

On devrait mettre à la disposition des équipages, des salles ainsi que des installations appropriées en vue de leur repos. La salle mise à la disposition des équipages devrait être proche des lieux d'envol, propre, éclairée, et bien meublée. On devrait de même prévoir des installations adéquates en vue des repas et des collations, et prendre soin de l'élaboration des menus. Les pilotes devraient avoir la possibilité de consommer des légumes frais, des salades ainsi que des fruits au moment des repas et des collations.

À l'achat d'un appareil, il convient de prévoir celui du matériel de sécurité facultatif; les harnais de sécurité, les sièges à dossier surélevé et les circuits carburants à l'épreuve des collisions par exemple. Dans le cas de vieux appareils, il est conseillé d'installer un circuit carburant à l'épreuve des collisions, des coussins absorbants et des harnais de sécurité, de préférence munis d'enrouleurs.

Il convient d'exposer aux passagers et aux nouveaux membres d'équipage les règles à suivre à proximité des hélicoptères. Il convient d'installer en proéminence des affiches sur la sécurité et de veiller à la sécurité sur la piste d'envol. Les installations d'entretien doivent être propres et bien éclairées. L'appareil doit également être propre et bien entretenu et on doit veiller à l'équilibrage des rotors afin de diminuer les vibrations.

CHAPITRE XV

L'AVENIR

Une certaine incertitude demeure en ce qui concerne l'avenir de l'hélicoptère. Certains croient que celui-ci assure la transition entre l'avion et d'autres aéronefs rapides qui pourront décoller et atterrir verticalement et rester en vol stationnaire. Ce genre d'aéronefs a bien évolué depuis qu'on a commencé à l'étudier sur la planche à dessin et il existe maintenant plusieurs prototypes qui volent. L'un d'entre eux, conçu par Bell, a une aile basculante munie d'un rotor de 25 pieds à chaque extrémité. L'appareil peut décoller verticalement, rester en vol stationnaire et passer en translation en faisant pivoter ses ailes et ses rotors vers l'avant. À l'heure actuelle, en mode aéronef à voilure fixe, cet appareil a de beaucoup dépassé les possibilités maximales de vol en croisière qu'offre l'hélicoptère.

Du côté militaire, un avion à décollage et atterrissage verticaux, le "Harrier", réalisé en Grande-Bretagne, est déjà en service. Il est capable de s'envoler verticalement et de se maintenir en vol stationnaire. Compte tenu de ses performances, il consomme cependant relativement beaucoup de carburant.

Il semblerait pourtant que, pour de nombreuses applications, l'hélicoptère réponde à un besoin. Dans le cas des vols de courte durée, quand le vol stationnaire est nécessaire, par exemple lorsqu'il s'agit de mettre en place des poteaux et des pylônes électriques, ou de transporter du matériel à l'élingue, l'hélicoptère a des applications évidentes. Il est donc certain que sa technique s'améliorera à tous égards. Il comporte toutefois des dangers inhérents à sa nature et il faudrait à l'avenir porter, à l'aspect humain du pilotage de cet appareil, plus d'intérêt qu'on ne l'a fait jusqu'à présent. Au fur et à mesure que les progrès de la technique amélioreront la fiabilité de la structure et des composants de l'appareil, on se penchera davantage sur ceux des causes humaines des accidents.

Avant que l'industrie aéronautique en vienne là, il faudra s'intéresser de près à l'aspect humain lié à la mise en oeuvre des hélicoptères. On peut espérer que la tendance à appliquer au pilotage des aéronefs à voilure tournante les principes qui valent pour les aéronefs à voilure fixe cessera lorsque les ingénieurs, les exploitants et les pilotes auront une meilleure idée des relations existant entre l'homme et l'hélicoptère et qu'ils tiendront compte du fait que le pilotage de l'hélicoptère est une technique nouvelle et différente.

Nous avons commis de nombreuses erreurs dans le passé et nous devons en tirer la leçon afin d'éviter que d'autres erreurs soient commises à l'avenir. Cela suppose des communications et une coopération satisfaisantes entre les représentants des nombreuses disciplines touchées, les considérations personnelles et économiques devant être écartées dans une certaine mesure. Après tout, l'objectif final consiste à réaliser un moyen de transport sûr et rapide. Cet objectif relève de la sécurité des vols. À long terme, la sécurité est ce qui importe le plus pour l'économie, bien qu'elle sera plus contraignante au début. Il est certain qu'une machine d'un pilotage plus facile et plus sûr, pouvant voler pendant plus longtemps sans imposer des contraintes anormales au pilote, permettrait de réaliser des économies d'exploitation. Il est certain qu'un bon programme de ventes est nécessaire avant que les limites auxquelles on s'oppose aujourd'hui puissent être élargies.

L'éducation est probablement le meilleur moyen d'améliorer les choses car un public informé peut seul agir dans le sens des améliorations à apporter à la conception et au pilotage des hélicoptères. Les pilotes doivent être informés des diverses causes de tension psychologique qui peuvent influer défavorablement sur leurs aptitudes et sur leur jugement afin de pouvoir se faire une meilleure idée de leurs propres limites.

De la même façon, ceux qui emploient des hélicoptères doivent être informés de ces problèmes, pour qu'ils puissent eux aussi comprendre les limites de l'homme et de la machine et n'aient pas tendance à se montrer trop exigeants à l'égard de l'un ou de l'autre. De plus, ceux qui envisagent une carrière de pilote d'hélicoptères devraient tenir compte du milieu de travail et des difficultés auxquelles ils devront avoir à faire face dans des conditions où ils ne devront généralement compter que sur eux-mêmes, après quoi ils auront à évaluer la qualité de leur motivation avant d'entreprendre l'entraînement. Il y aura ainsi moins de ces désillusions que l'on constate souvent chez des personnes qui aspirent avant tout à piloter un hélicoptère et qui, lorsque l'enthousiasme du début se refroidit, sont frustrés par le genre de travail qui leur est confié.

En ce qui concerne la technique de construction, on a démontré qu'une erreur a été faite lorsqu'on s'est efforcé d'appliquer à une machine originale les principes connus qui valaient pour les aéronefs à voilure fixe. À peu près comme les électrons, les êtres humains s'efforcent de suivre le trajet de moindre résistance et, comme on peut donc le comprendre, ils ont commis certaines erreurs. L'auteur a montré que, par exemple, un horizon artificiel d'aéronefs à voilure fixe ne convient pas à l'hélicoptère et que certaines des méthodes d'exploitation courantes pour les avions ne sont pas applicables. Les constructeurs, maintenant qu'ils disposent de beaucoup d'expérience et de renseignements, devraient commencer par faire table rase du passé et revoir dans un esprit nouveau la relation homme-machine, s'attachant même à des éléments de base tels que les commandes et les tableaux de bord. Ce n'est pas parce que le manche et le palonnier conviennent bien à l'avion qu'un moyen de pilotage plus simple et mieux approprié ne pourrait pas être conçu pour l'hélicoptère. Une seule commande agissant sur plusieurs axes pourrait bien constituer la meilleure solution.

Parallèlement, on pourrait améliorer la sécurité en normalisant les postes de pilotage et en perfectionnant les instruments de façon à diminuer les risques d'erreurs de pilotage par mauvaise interprétation des indications instrumentales. Il faut tenir compte de l'expérience acquise à propos du traitement de l'information par l'être humain. L'emploi de revêtements acoustiques permettant de réduire le bruit et d'amortir les vibrations, ainsi que l'adoption de sièges anthropométriques réglables, feraient beaucoup pour améliorer le confort du pilote et la qualité de son travail. En augmentant les chances de survie en cas d'accident on aboutirait non seulement à plus de sécurité d'exploitation mais aussi à un meilleur moral chez les pilotes.

Toutes les modifications envisagées ci-dessus nécessiteraient des efforts considérables de coopération entre les divers constructeurs ce qui, compte tenu des impératifs de la concurrence, serait difficile mais ne devrait pas être impossible. Quoi qu'il en soit, en cette époque de sensibilisation au caractère non renouvelable des ressources naturelles, l'industrie de l'hélicoptère ne manquerait pas, ainsi que le reste de la société, de bénéficier à long terme d'une économie d'exploitation.

Enfin, même si l'on apporte à l'avenir des améliorations aux hélicoptères, un grand nombre de machines anciennes resteront en service pendant un certain temps. Certaines améliorations peuvent être apportées en fait de sécurité par la modification et le montage en rattrapage, notamment en ce qui concerne la protection des occupants. On pourrait, par exemple, remplacer les coussins de sièges en mousse de caoutchouc par les moyens de protection qui existent aujourd'hui. L'équipement de sécurité du personnel comme les combinaisons de vol ignifuges (par exemple Nomex) et les casques protecteurs, quand on en utilise, feraient sans aucun doute beaucoup pour améliorer les statistiques relatives aux chances de survie.

Le présent ouvrage porte principalement sur la description de certaines des faiblesses de l'hélicoptère et il formule des suggestions sur la manière de réaliser certaines améliorations. Le lecteur, s'il n'a pas succombé à l'ennui mais poursuivi sa lecture jusqu'ici, aura très probablement une idée de l'hélicoptère et de son pilotage.

Pour tout dire, il existe autre chose. Le pilotage de l'hélicoptère est passionnant. Aucune autre machine volante ne donne au pilote autant d'occasions de se mesurer à la difficulté et de se sentir libre. Pouvoir évoluer dans toutes les dimensions et atterrir presque partout, s'immobiliser en vol ou prendre la vitesse que l'on veut, contempler l'immensité du paysage qu'on découvre de l'habitacle, ne sont que quelques-uns des attraits qui font l'agrément du pilotage de l'hélicoptère. Le vol a, depuis le début des temps, exercé une fascination sur l'imagination des hommes. Peu de choses sont aussi exaltantes que le fait de se sentir libre aux commandes d'un hélicoptère.

Photo 15-1

RÉFÉRENCES

1. Benson, A.J.: Spatial Disorientation and the "Break-off" Phenomena Aerospace Medicine, août 1983.

2. Billings et coll.: Physiological Cost of Piloting Rotary Wing Aircraft Aerospace Medicine, mars 1970, vol. 41, N° 3.

3. Billings et coll.: Stress and Strain in Student Helicopter Pilots.

4. Billings et coll.: Studies of Pilot Performance. Evaluation of Performance During Low Altitude Flight in Helicopters Aerospace Medicine, janvier 1968, vol. 39, N° 1.

5. Billings, Chas E. et coll.: Studies of Pilot Performance; 111. Validation of Objective Performance Manoeuvers for Rotary-Wing aircraft. Aerospace Medicine, septembre 1973.

6. Brugginla: Emergency Landing and Ditching Techniques in Helicopters. AGARD Conference Proceedings N° 24.

7. Bynum, James A. et coll.: Development of a Paint Scheme for Increasing Helicopter Conspicuity. USAARU Rapport N° 68 - 1.

8. Bynum, James A. et coll.: Painted Helicopter Main Rotor Blades and Flicker-Induced Vertigo. USAARU Rapport N° 68 - 11.

9. Camp: Noise Spectra of the U.S. Army OH-58A Helicopter. USAARL Letter Report.

10. Crosley, John K. et coll.: Improving U.S. Army Aircraft Propeller and Tail Rotor Blade Conspicuity with Paint. USAARL Rapport N° 72-15.

11. Eastwood: Disorientation in Helicopter Pilots. Aerospace Medicine, mars 1970.

12. Eley, Wg. Cdr. D.: Problems of Training Army Helicopter Pilots. AGARD Conference Proceedings Series N° 24.

13. Forbes, David T.: What is Flicker Vertigo? U.S. Army Aviation Digest, décembre 1971.

14. Gessow, Alfred/Ungar, Garry C. Myers, Jr. Aerodynamics of the Helicopter. 1967.

15. Grether et coll.: Effects of Heat, Noise and Vibration Stress. Aerospace Medicine, octobre 1971, vol. 42 N° 10.

16. Haley: Helicopter Structural Design for Impact Survival. American Helicopter Society.

17. Haley Joseph L.: Surviving the Survivable. U.S. Army Aviation Digest, décembre 1971.

18. Littel: Heat Stress on OH58A Helicopter Crews. USAARL Letter Report V53, décembre 1969.

19. Mackiae, Surg. Cdr.: Operation of Helicopters - Some Visual Problems. AGARD Conference Proceedings Series N° 24.

20. Mattox: Crash Injuries in U.S. Army Helicopter Accidents. AGARD.

21. Melton et coll.: Exposure of Men to Intermittent Photic Stimulation. Under Stimulated IFR Conditions. FAA Project N° AM 64-3, phys. 1 Rapport N° AM 66-39.

22. Obden et coll.: Disorientation in Army Helicopter Pilots. U.S. Army Board for Aviation Accident Research, Rapport N° 2-64.

23. Schane, W.P.: Continuous EKG Recording of Helicopter Instructor Pilots. An Interim Evaluation. U.S. Army Aeromedical Research Laboratory Report, N° 69-5.

24. Schane, W.P.: Effects of Downwash Upon Man. USAARU Rapport N° 68-3.

25. Seris, H. et coll.: Vibration sur l'hélicoptère. AGARD Conference Proceedings, N° 24.

26. Simson, Lawrence R.: "Chin - Sternum - Heart Syndrome" Parachuting Mishaps. Aerospace Medicine, novembre 1971 vol. 42 N° 11.

27. Stern et coll.: Analysis of Visual Search Activity in Helicopter Pilots. Aerospace Medicine, mars 1970 vol. 41 N° 3.

28. U.S. AAMRDL Technical Report 71-22: Crash Survival Design Guide.

29. U.S. Navy Flight Surgeon's Manual.

30. Borchsrevink, Hans M.: Second Language Speech Comprehension in Noise - A Hazard to Aviation Safety.

31. Vinson, D.B.: Mental Time Sharing in the Human Operator.

32. Mohler, Stanley R.: Mental Functioning Safe Pilot Performance. Flight Safety Foundation Inc. Human Factors Bulletin - janv./fév. 1979.

33. Nicholson, A.N. et coll.: Influence of Workload on the Neurological State of a Pilot During the Approach and Landing. Aerospace Medicine, fév. 1973.

34. Grey, Walter.

35. Miller, J.G. (1960) Input Overload and Psychopathology. American Journal of Psychiatry 116, 695-704.

36. Elliot, R.J.: Weather Accidents: The Odds. Helicopters in Canada, Fall 1980.

37. Clinical Neurology - 2nd Edition - Frank A. Elliott, M.D., FRCP, Aerospace Medicine 44(8): 953-955, 1973.

38. Russel, B. Rayman: Sudden Incapacitation in Flight. Aerospace Medicine 44(8): 953-955, 1973.

39. Harper, C.R.; Kidera, G.J.: Hypoglycemia in Airline Pilots. Aerospace Medicine, juillet 1973.

40. Taylor, Ellis R.: The Incidence of Hypoglycemia in Flight. Air University, School of Aviation Medicine, Randolph AFB Texas, fév. 1959.

41. Hutchison, R.C.: Effect of Gastric Contents on Mental Concentration and Production Rate. Journal of Applied Physiology, vol. 7 N° 2, sept. 1954.

42. Ou, L.C.: Hepatic and Renal Gluconeogenesis in Rats Acclimatised to High Altitude. Journal of Applied Physiology, vol. 36(3), mars 1974.

43. Goede, R.: Backache in Helicopter Pilots. Flight Comment, 4th Edition, 1977.

44. Whiteside. Aviation Medicine, vol. 2. Tri-Med. London, page 305.

45. McCormick, Ernest J: Human Engineering. McGraw-Hill Book Company, 1957.

46. Teobaldo, Llosa Rojas: Flying Decompensation Syndrome and Fear of Flying. Aerospace Medicine, sept. 1974.

ANNEXE A

LISTE DE VÉRIFICATION I

ENQUÊTE SUR LES FACTEURS HUMAINS

	FACTEUR	S'IL Y A LIEU
I	**Traitement de l'information**	
	A. Surcharge d'information (régression, indices, retraits)	Bandes magnétiques des tours de contrôle, analyse du déroulement du vol, chronométrage, épave, manuels du pilote.
II	**Motivation**	
	Notamment pilote confirmé et phobie du vol Phobie du vol Tendance à prendre des risques	Nombre d'heures de vol, réaction des collègues, autres sujets d'intérêt, antécédents scolaires, comportement en avion et en voiture, infractions, genre de lectures, par exemple traitement médical des accidentés, réactions face aux accidents, satisfaction procurée par le vol et réalisations notables, préparation du vol, exposé météorologique verbal.
III	**Vision**	
	A. Acuité visuelle	Antécédents médicaux, verres ou lentilles portées. Dossier de l'opticien pour la conduite automobile et pour le travail.
	Éclairage	Par exemple en atelier
	B. Illusions	Conditions météorologiques, précipitations. Plan d'eau miroitant.
	C. Illusions face à la piste	Profil de la piste et d'une approche courte. Concentration sur les traces de pneus.

	D.	Éblouissement:	Dispersion intra-oculaire Éblouissement aveuglant Éblouissement par voile	Moment de la journée, direction par rapport au soleil, illumination de l'écran, conception, pente de l'écran, lunettes de soleil.
IV	**Désorientation vestibulaire**			
	A.	"Vertige"		Météorologie, expérience, formation, trajet de vol aux instruments, impact, position des émetteurs radio, etc.
	B.	Conséquences somatiques		Lumière, éclairage (naturel et artificiel) types d'instruments (variomètre ou variomètre sans inertie) profil de vol (par exemple illusion en cas de décollage par nuit noire).
	C.	Illusions à basse altitude		Direction du vent, vitesse, profil de vol, emplacement de l'éclairage et dimension des fils, température.
V.	**Facteurs combinés**			
	A.	Contraintes externes		
		1.	Hypoxie	Profil de vol, tabagisme, équipement 02.
		2.	Dysbarismes	Antécédents; froid ou maladie.
		3.	Conditions thermiques	Agencement extérieur et dans le poste de pilotage, transpiration au poste de pilotage.
		4.	Papillotement	Direction du soleil et des objets créant de l'ombre.
		5.	Hyperventilation	Profil de vol, symptômes, enregistrements des conversations dans le poste de pilotage, bandes magnétiques de la tour.

	6.	Vibration, turbulence	Météorologie, caractéristiques de l'aéronef.
	7.	Toxicologie	Quantité de gaz carbonique, exposition aux produits chimiques, équipement de protection.
	8.	Rythme circadien	Horaires, changements de fuseau horaire, vols à grande distance.
B.	Contraintes internes		
	1.	Conflits	Attitude de la famille, situation financière, querelles.
	2.	Hypoglycémie	Repas, habitudes diététiques, contenu de l'estomac.
	3.	Fatigue	Heures de pilotage, temps total de service, conditions de repos.
			Activités pendant les 48 dernières heures et indication des malaises éventuels.
	4.	Gueule de bois	Activités, habitudes de boisson.
	5.	Maladie	Antécédents; famille ou médecin, médicaments, témoins de l'autopsie.
	6.	Hâte de rentrer chez soi	Activité professionnelle, pressions sociales, collègues, habitudes de vol.
	7.	Hâte de terminer un travail	Antécédents et difficultés de pilotage; particularités du vol précédent; bandes d'enregistrement magnétiques de la tour.

VI	**Ergonomie**		
	A.	Agencement de l'espace de travail	Manuels de l'exploitant, dessins industriels, brochures, autres documents relatifs à l'aéronef.
		1. Anthropométrie	Autopsie, mesures, vêtements.
	B.	Pièces à conviction	Épave, autres éléments relatifs à l'aéronef, brochures, manuels de l'exploitant.
	C.	Mises en garde	Enregistrement des conversations, rapports d'incidents, fiabilité des mises en garde (qualité de l'entretien).
	D.	Commandes	Épave, autres éléments de l'aéronef, brochures, manuels.
VII	**Inaptitude**		
	A.	Médicale	Historique de la dernière maladie.
			Preuve d'une incapacité antérieure, par exemple à la suite d'un accident de la route, d'un accident survenu à la maison ou au cours d'une activité récréative.
			Preuve du traitement et de l'existence d'un médecin de famille, médicaments, soins sans consultation médicale (famille, collègues).
			Comportement avant l'accident et déroulement de celui-ci.
			Historique du vol avec indication des repas ingérés.
			Actions compatibles avec une diminution de l'état de conscience, par exemple le fait d'abaisser les volets, le train d'atterrissage, etc. (recours à l'enregistreur des données de vol).

Analyse du profil de vol et des particularités de l'accident:

constatation d'un changement du profil de vol

constatation d'une intervention aux commandes (ou d'un manque d'intervention)

constatation d'une tentative de reprise des commandes par une tierce personne

indices prodromiques

Autopsie pour analyse des blessures aux mains et aux pieds:

indices d'une maladie
indices d'une lésion des tissus à l'impact, identification par les cheveux.

Analyse biochimique pour découverte des substances toxiques et preuves d'une réaction adrénergique.

Indices de contraintes psychologiques d'après les bandes magnétiques de la tour et de l'enregistreur de conversations dans le poste de pilotage.

B. Psychologique

Antécédents psychologiques pour découverte d'indices relatifs aux changements d'humeur.

Indices d'aggravation des contrariétés avant ou pendant le vol; comportement du sujet avant le vol.

Indices de conflits de personnalités; recours aux bandes magnétiques de l'enregistreur de conversations dans le poste de pilotage et de la tour, et recours aux témoins.

Indices d'ambiguïté de présentation des informations compatibles avec les dispositions mentales.

C. Toxiques

Exposition aux produits chimiques, analyse des tissus; analyse du comportement pendant le vol.

Témoignages sur la personnalité du sujet, notamment par les collègues.

ANNEXE B

LISTE DE VÉRIFICATION II

ENQUÊTE SUR LES FACTEURS HUMAINS

	SOURCE D'INFORMATION	MOTIFS DE L'EXAMEN
I	**Dossier 5802: Dossier du pilote**	
	A. Rapport d'examen médical	Âge, profession, temps de vol; antécédents médicaux, mesures (taille et poids); couleur des yeux et signes particuliers.
		Imperfections physiques, difficultés d'acuité visuelle ou acoustique, défauts de perception des couleurs, nom de l'examinateur médical.
	B. Rapports d'examens en vol	Expérience du pilotage, formation, problèmes, points faibles, habitudes, attitude, annotations.
	C. Dossiers d'accidents	Récidivistes, leurs problèmes.
		Attitude envers les autorités et la réglementation.
II	**Manuels et brochures**	Types et emplacement des instruments (qui provoquent des illusions), des postes de radio et autres dispositifs pouvant créer le vertige, couleur des instruments, hauteur de l'oeil par rapport aux instruments, anthropométrie.

III.	**Épave**	Position des commandes (par ex., régression), lunettes ou verres de contact, médicaments, état du pare-brise, force et sens de l'impact (par exemple, vertige), instruments disponibles, utilisation et qualité de l'équipement de sécurité, types de tableaux de bord et de commandes, présence de produits chimiques toxiques, fuites de gaz carbonique, notes relatives à un suicide.
IV	**Profil du vol**	
	A. Historique du vol (y compris sa préparation et l'exposé météorologique verbal)	Calcul des temps, tracé des positions, indications des anomalies en vol, écart par rapport aux procédures normales d'exploitation, professionnalisme, excès ou manque de confiance (par ex. carburant emporté, météorologie incitant le pilote à prendre des risques). Conditions météorologiques en croisière (par ex., turbulence, IFR) changements de fuseau horaire, renseignements sur la surcharge.
	B. Conditions de l'écrasement	Désorientation, impossibilité d'agir aux commandes, suicide, direction par rapport au soleil, dangers dus au vent.
	C. Bandes magnétiques de la tour de contrôle	Chronologie des événements, changements de voix (hypoxie, ingestion de produits pharmaceutiques ou d'alcool, incapacité d'agir aux commandes, maladie, panique), excès d'information, interruption des vérifications.
	D. Enregistreur des conversations dans le poste de pilotage	Chronométrie, changements de voix, autres indices.

V	**Aéroport ou terrain d'atterrissage**		
	A.	Profil de la piste	Illusions dues à la pente de la piste.
	B.	Profil d'une approche trop ou pas assez longue	Éclairage, travaux créant des obstacles.
	C.	Concentration des marques de pneus	
	D.	Largeur de la piste	Illusions dues à la piste (comparée à l'aéroport d'origine)
	E.	Phénomènes réduisant la visibilité	Temps laiteux, neige, brouillard
	F.	Éclairage local	
VI	**Activités des 48 dernières heures (au minimum)**		
	Se renseigner auprès de la famille, des collègues, etc.		Fatigue, hypoglycémie. Maladie, absorption de médicaments sans ordonnance, consommation alcoolique, exposition à des substances toxiques.
VII	**Témoins**		
	A.	Observateurs	- trajectoire finale du vol; - conditions météorologiques locales; - possibilités de survie; - exposition aux substances chimiques toxiques;
	B.	Famille	- intérêts, mobiles, expériences, conflits (attitude de la famille à l'égard du pilotage), résultats scolaires et dossier de conduite automobile, aspirations, réactions à l'égard des accidents;

- santé, médecin de famille, médicaments, douleur dans la poitrine, souffle court;
- habitudes personnelles, tabagisme, antécédents comme conducteur, accidents à la maison et pendant les loisirs, régime diététique, consommation alcoolique, lectures habituelles;
- port de verres correcteurs, de lunettes de soleil;
- activité pendant les 48 heures précédentes, repas, fatigue;
- pressions sociales ou dans le travail.

C. Collègues

- attitude envers la compagnie;
- jugement sur l'aptitude, les habitudes, les intérêts, les problèmes suscités par l'aéronef;
- conduite, santé, caractère, pression sociale ou dans le travail;
- activité pendant les 48 heures précédentes.

D. Instructeurs

- aptitude, attitude, motivation, faits extraordinaires, anxiété, niveau de formation;
- difficultés avec les aéronefs;
- pressions dans le travail ou pressions sociales (leçons manquées, attitude de la famille);
- habitudes, notamment quant à la boisson.

E. Médecin examinateur de l'aviation civile et (ou) médecin de famille

- antécédents médicaux, maladies, médicaments absorbés, problèmes sociaux, renvoi à d'autres spécialistes.

F. Carnet de vol

- expérience, netteté des entrées, intérêts.

G.	Chefs pilotes de la compagnie, personnel au sol	- problèmes et pressions dans la compagnie; - jugement sur l'aptitude du pilote, sur ses motivations, par exemple manque de ponctualité, absentéisme; - problèmes d'entretien, motivation des employés (absentéisme, fréquence de changement du personnel); - attitudes envers la sécurité; bulletins, avis, chroniques, bibliothèque.

VIII Conditions météorologiques

Prévisions, commentaires de la situation réelle, considérations locales

A.	Temps	IFR, turbulence.
B.	Température	Contraintes dues à la chaleur ou au froid.
C.	Aménagement de l'aéronef	Contraintes dues à la chaleur ou au froid, risques d'intoxication.
D.	Vent	Illusions à basse altitude, vent de travers, distraction, turbulence.
E.	Nébulosité, phénomènes réduisant la visibilité	Désorientation, illusions.
F.	Soleil, clarté, position	Éblouissement, distraction, contraintes thermiques dues à l'effet de serre.

IX Autopsie

A.	Vêtements	- marques, transpiration, produits chimiques. - contenu des poches. - dimensions (anthropométrie).
B.	Autopsie générale	- identification. - maladies antérieures, blessures antérieures. - qui était aux commandes. - déroulement des événements. - résistance à l'impact.

C. Analyse biochimique

- contenu de l'estomac
- alcool, oxyde de carbone, produits chimiques toxiques, teneur en lactate (contrainte psychologique).
- ateliers d'entretien - moyens d'éclairage, environnement.

ANNEXE C

ÉQUATIONS DE DÉCÉLÉRATION

DANS LE CAS OÙ $V_{final} = 0$

I. DÉCOMPOSITION DES FORCES PAR LA MÉTHODE RECTANGULAIRE

Décélé. G temps

Durée de l'impact: $t = \frac{Vo}{32,2\ G}$

Vélocité Vo t temps

Niveau de décélération: $G = \frac{Vo^2}{64,4S}$

Distance d'arrêt: $S = \frac{Vo^2}{64,4G}$

Ou: $S = \frac{32,2Gt^2}{2}$

II. DÉCOMPOSITION DES FORCES PAR LA MÉTHODE TRIANGULAIRE - EXEMPLE N° 1

Décélé. G temps

Durée de l'impact: $t = \frac{2Vo}{32,2\ G}$

Vélocité Vo t temps

Niveau de décélération: $G = \frac{2Vo^2}{96,6S}$

Distance d'arrêt: $S = \frac{2Vo^2}{96,6G}$

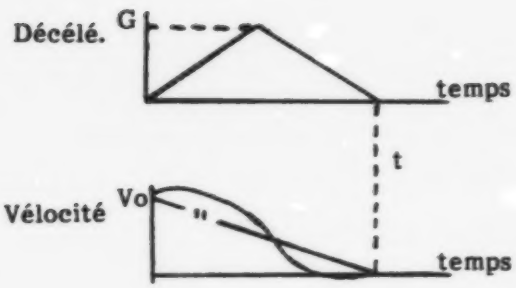
Ou: $S = \frac{32,2Gt^2}{6}$

ANNEXE C

ÉQUATIONS DE DÉCÉLÉRATION

DANS LE CAS OÙ $V_f = 0$

III. DÉCOMPOSITION DES FORCES PAR LA MÉTHODE TRIANGULAIRE EXEMPLE N° 2



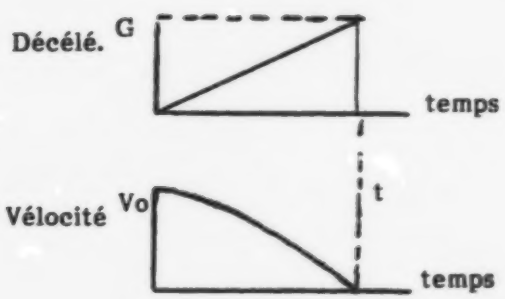
Durée de l'impact: $t = \frac{2Vo}{32,2\ G}$

Niveau de décélération: $G = \frac{Vo^2}{32,2S}$

Distance d'arrêt: $S = \frac{Vo^2}{32,2G}$

Ou: $S = \frac{32,2Gt^2}{4}$

IV. DÉCOMPOSITION DES FORCES PAR LA MÉTHODE TRIANGULAIRE EXEMPLE N° 3



Durée de l'impact: $t = \frac{2Vo}{32,2\ G}$

Niveau de décélération: $G = \frac{4Vo^2}{96,6S}$

Distance d'arrêt: $S = \frac{4Vo^2}{96,6G}$

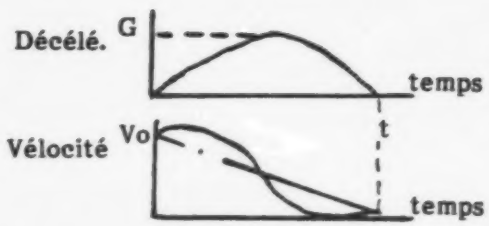
Ou: $S = \frac{32,2Gt^2}{3}$

ANNEXE C

ÉQUATIONS DE DÉCÉLÉRATION

DANS LE CAS OÙ $V_f = 0$

V. DÉCOMPOSITION DES FORCES PAR LA MÉTHODE DU DEMI-SINUS



Durée de l'impact: $t = \frac{1,57Vo}{32,2G}$

Niveau de décélération: $G = \frac{0,7854Vo^2}{32,2S}$

Distance d'arrêt: $S = \frac{0,7854Vo^2}{32,2G}$

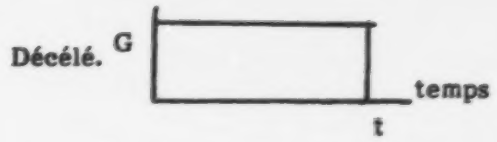
Ou: $S = \frac{32,2Gt^2}{3,14}$

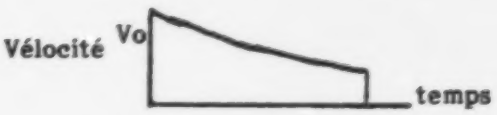
ANNEXE D

ÉQUATIONS DE DÉCÉLÉRATION

DANS LE CAS OÙ $V_f \neq 0$

I. DÉCOMPOSITION DES FORCES PAR LA MÉTHODE RECTANGULAIRE





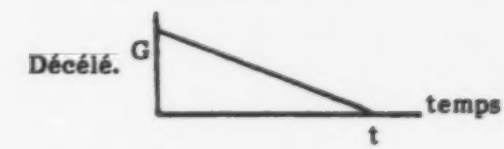
Durée de l'impact: $t = \frac{Vo - Vf}{32,2G}$

Niveau de décélération: $G = \frac{Vo^2 - Vf^2}{64,4S}$

Distance d'arrêt: $S = \frac{Vo^2 - Vf^2}{64,4G}$

Ou: $S = Vot - \frac{32,2\ Gt^2}{2}$

II. DÉCOMPOSITION DES FORCES PAR LA MÉTHODE TRIANGULAIRE - EXEMPLE N° 1



Durée de l'impact: $t = \frac{2\ (Vo - Vf)}{32,2G}$

Niveau de décélération: $G = \frac{2\ Vo^2 + 2VoVf - 4Vf^2}{96,6S}$

Distance d'arrêt: $S = \frac{2\ Vo^2 + 2VoVf - 4Vf^2}{96,6G}$

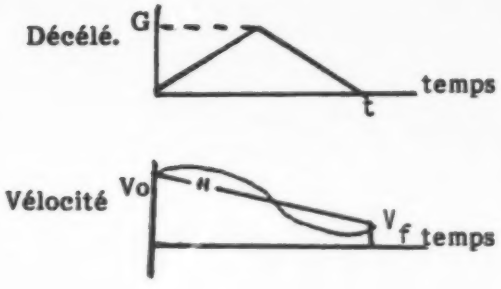
Ou: $S = Vot - \frac{32,2\ Gt^2}{3}$

ANNEXE D

ÉQUATIONS DE DÉCÉLÉRATION

DANS LE CAS OÙ $V_f \neq 0$

III. DÉCOMPOSITION DES FORCES PAR LA MÉTHODE TRIANGULAIRE - EXEMPLE N° 2



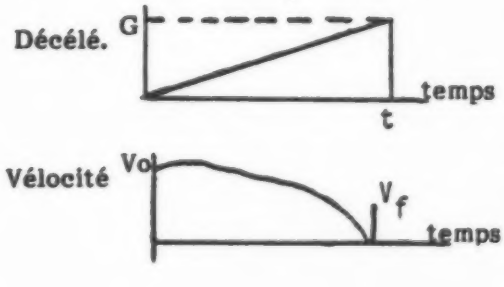
Durée de l'impact: $t = \frac{2 (Vo - Vf)}{32,2G}$

Niveau de décélération: $G = \frac{Vo^2 - Vf^2}{32,2S}$

Distance d'arrêt: $S = \frac{Vo^2 - Vf^2}{32,2G}$

Ou: $S = Vot - \frac{32,2\ Gt^2}{4}$

IV. DÉCOMPOSITION DES FORCES PAR LA MÉTHODE TRIANGULAIRE -EXEMPLE N° 3



Durée de l'impact: $t = \frac{2 (Vo - Vf)}{32,2G}$

Niveau de décélération: $G = \frac{4\ Vo^2 - 2VoVf - 2Vf^2}{96,6S}$

Distance d'arrêt: $S = \frac{4\ Vo^2 - 2VoVf - 2Vf^2}{96,6G}$

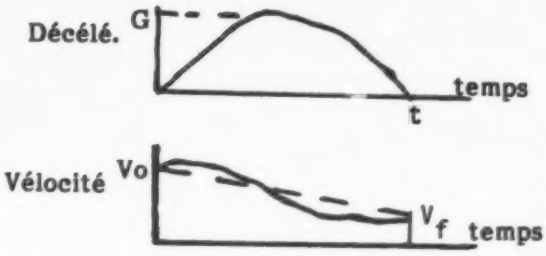
Ou: $S = Vot - \frac{32,2\ Gt^2}{6}$

ANNEXE D

ÉQUATIONS DE DÉCÉLÉRATION

DANS LE CAS OÙ $V_f \neq 0$

V. DÉCOMPOSITION DES FORCES PAR LA MÉTHODE DU DEMI-SINUS



Durée de l'impact: $t = \frac{1,57 (Vo - Vf)}{32,2G}$

Niveau de décélération: $G = \frac{0,7854 (Vo^2 - Vf^2)}{32,2S}$

Distance d'arrêt: $S = \frac{0,7854 (Vo^2 - Vf^2)}{32,2G}$

Ou: $S = Vot - \frac{32,2Gt^2}{3,14}$

ANNEXE E

SINUS = $\frac{\text{CÔTE OPPOSÉ}}{\text{HYPOTENUSE}}$ COSINUS = $\frac{\text{CÔTÉ ADJACENT}}{\text{HYPOTENUSE}}$ TANGENTE = $\frac{\text{CÔTÉ OPPOSÉ}}{\text{CÔTÉ ADJACENT}}$

Angle	Sinus	Cosinus	Tangente	Angle	Sinus	Cosinus	Tangente
0	0,000	1,000	0,000	45	0,707	,707	1,000
1	,018	1,000	,018	46	,719	,695	1,036
2	,035	0,999	,035	47	,731	,682	1,072
3	,052	,999	,052	48	,743	,669	1,111
4	,070	,998	,070	49	,755	,656	1,150
5	,087	,996	,088	50	,766	,643	1,192
6	,105	,995	,105	51	,777	,629	1,235
7	,122	,993	,123	52	,788	,616	1,280
8	,139	,990	,141	53	,799	,602	1,327
9	,156	,988	,159	54	,809	,588	1,376
10	,174	,985	,176	55	,819	,574	1,428
11	,191	,982	,194	56	,829	,559	1,483
12	,201	,978	,213	57	,839	,545	1,540
13	,225	,974	,231	58	,848	,530	1,600
14	,242	,970	,249	59	,857	,515	1,664
15	,259	,966	,268	60	,866	,500	1,732
16	,276	,961	,287	61	,875	,485	1,804
17	,292	,956	,306	62	,883	,470	1,881
18	,309	,951	,325	63	,891	,454	1,963
19	,326	,946	,344	64	,899	,438	2,050
20	,342	,940	,364	65	,906	,423	2,145
21	,358	,934	,384	66	,914	,407	2,246
22	,375	,927	,404	67	,921	,391	2,356
23	,391	,921	,425	68	,927	,375	2,475
24	,407	,914	,445	69	,934	,358	2,605
25	,423	,906	,466	70	,940	,342	2,747
26	,438	,899	,488	71	,946	,326	2,904
27	,454	,891	,510	72	,951	,309	3,078
28	,470	,883	,532	73	,956	,292	3,271
29	,485	,875	,554	74	,961	,276	3,487
30	,500	,866	,577	75	,966	,259	3,732
31	,515	,857	,601	76	,970	,242	4,011
32	,530	,848	,625	77	,974	,225	4,331
33	,545	,839	,649	78	,978	,208	4,705
34	,559	,829	,675	79	,982	,191	5,145
35	,574	,819	,700	80	,985	,174	5,671
36	,588	,809	,727	81	,988	,156	6,314
37	,602	,799	,754	82	,990	,139	7,115
38	,616	,788	,781	83	,993	,122	8,144
39	,629	,777	,810	84	,995	,105	9,514
40	,643	,766	,839	85	,996	,087	11,43
41	,656	,755	,869	86	,998	,070	14,30
42	,669	,743	,900	87	,999	,052	19,08
43	,682	,731	,933	88	,999	,035	28,64
44	,695	,719	,966	89	1,000	,018	57,29
45	,707	,707	1,000	90	1,000	,000	-----

NOTICE BIOGRAPHIQUE

HUGO LEECH

Ayant servi comme commandant d'un bâtiment approvisionnant les îles situées au large des côtes d'Écosse, Hugo commença en 1963 son instruction au pilotage dans l'Armée britannique et pilota des hélicoptères dans le nord-ouest de l'Europe et en Amérique du Sud. Il se perfectionna à l'école centrale de pilotage des Forces aériennes britanniques en 1966 et exerça les fonctions d'instructeur à l'école de l'Aviation de l'armée à Middle Wallop, puis à l'Unité d'instruction opérationnelle de Kluang, en Malaisie.

Ayant émigré au Canada en 1969, il fut engagé à Northern Helicopters, à Abbotsford (Colombie-Britannique) et vola pendant six ans dans cette province et dans les Territoires du Nord-Ouest. Pendant cette période, il fut également chef-pilote instructeur de la Northern Helicopter School.

M. Leech entra à Transports Canada en 1974 en qualité de spécialiste de la formation des pilotes d'hélicoptères. À ce titre, il fut chargé de coordonner pour tout le Canada les méthodes de pilotage d'hélicoptères et de diriger les stages annuels de recyclage des instructeurs de pilote d'hélicoptères. Doté de nombreux talents, M. Leech est également musicien et c'est en cette qualité qu'il s'est distingué dans la troupe de comédie musicale connue sous le nom de BNA qui s'est produite notamment au Centre national des Arts, à Ottawa.

NOTICE BIOGRAPHIQUE

DR OLAF SKJENNA

Né à Medicine Hat (Alberta), le Dr Skjenna a obtenu son diplôme de médecin à l'Université de l'Alberta en 1967, après quoi il a servi pendant quatre ans comme médecin militaire dans l'Aviation royale du Canada. Pendant son passage dans les Forces armées, il est devenu parachutiste militaire et pilote d'avions et d'hélicoptères.

Le Dr Skjenna a quitté les Forces armées canadiennes en 1972 pour devenir médecin de l'Aviation civile pour la Région du Centre, à Winnipeg. En 1974, il a obtenu son diplôme de médecine aéronautique à l'Institut de médecine aéronautique des Forces aériennes royales britanniques, à Farnborough, où il est retourné en 1975 et 1976 comme maître de conférences invité.

Le Dr Skjenna, qui s'est établi à Ottawa en 1976, est actuellement directeur adjoint de la médecine aéronautique civile. Au cours de sa carrière, il a participé à de nombreuses enquêtes sur les accidents d'aviation et a manifesté un intérêt tout particulier pour la spécialité de pilote d'hélicoptères.

Marié, père de quatre enfants, le Dr Skjenna s'intéresse notamment au pilotage (il est titulaire d'un permis de pilote professionnel d'hélicoptères), à la voile, à la musique et à la sculpture sur bois.